

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001年3月22日 (22.03.2001)

PCT

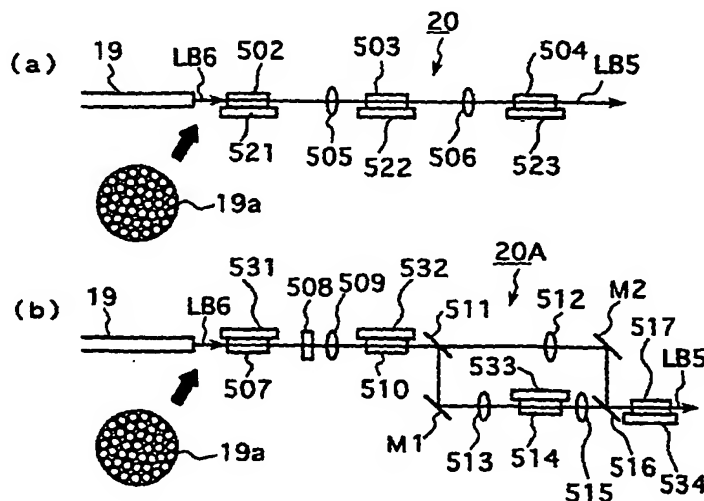
(10) 国際公開番号  
WO 01/20397 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/37, H01S 3/109
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/06131
- (22) 国際出願日: 2000年9月8日 (08.09.2000)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願平11/258133 1999年9月10日 (10.09.1999) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大槻朋子 (OHT-SUKI, Tomoko) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル 株式会社 ニコン 知的財産部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大森 聡 (OMORI, Satoshi); 〒214-0014 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM,

[続葉有]

(54) Title: LASER DEVICE AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: レーザ装置及び露光方法



(57) Abstract: A laser device which can be used as a light source for an exposure device, can be downsized, and is easy to maintain. A laser beam (LB6) emitted from a DFB (Distributed feedback) semiconductor laser, for example, and amplified by an optical fiber amplifier is passed through non-linear optical crystals (502, 503, 504) to be sequentially doubled in frequency to thereby generate an ultraviolet-region laser beam (LB5) consisting of an octuple wave. A GdYCOB, that is,  $Gd_xY_{1-x}Ca_4O(BO_3)_3$  crystal ( $0 < x < 1$ ) is used for the non-linear optical crystal (503) for a double wave-to-quadruple wave conversion, and a KAB, that is,  $K_2Al_2B_4O_7$  crystal for the non-linear optical crystal (504) for a quadruple wave-to-octuple wave conversion. The non-linear optical crystals (502-504) are all fine-tuned in phase match angle by temperature controllers (521-523) respectively.

[続葉有]



AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

---

(57) 要約:

露光装置の光源に使用できると共に、装置を小型化でき、かつメンテナンスの容易なレーザ装置である。例えばDFB (Distributed feedback) 半導体レーザから射出されて光ファイバー増幅器で増幅されたレーザ光 (LB 6) を、非線形光学結晶 (502, 503, 504) に通して、順次周波数を2倍にして8倍波よりなる紫外域のレーザ光 (LB 5) を発生する。2倍波から4倍波への変換を行う非線形光学結晶 (503) には $GdYCOB$ 、即ち $Gd_x Y_{1-x} Ca_4 O (BO_3)_3$ の結晶 ( $0 \leq x \leq 1$ ) を、4倍波から8倍波への変換を行う非線形光学結晶 (504) には $KAB$ 、即ち $K_2 Al_2 B_4 O_7$ の結晶を使用する。非線形光学結晶 (502~504) の全ての位相整合角の微調整をそれぞれ温度制御装置 (521~523) によって行う。

## 明 細 書

## レーザ装置及び露光方法

## 5 技術分野

本発明は、紫外光を発生するレーザ装置及びこの装置を用いた露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子（CCDなど）、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、及び薄膜磁気ヘッドなどのマイクロデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置の露光光源や計測用光源に使用して好適なものである。

## 背景技術

例えば半導体集積回路を製造するためのフォトリソグラフィ工程で  
使用される露光装置は、マスクとしてのレチクル（フォトマスク）上に精  
密に描かれた回路パターンを、基板としてのフォトレジストを塗布した  
ウエハ上に光学的に縮小して投影露光する。この露光時におけるウエハ  
上での最小パターン寸法（解像度）を小さくするのに最も単純かつ有効  
な方法の一つは、露光光の波長（露光波長）を短くすることである。こ  
こで露光光の短波長化の実現と合わせて、露光光源を構成する上で備え  
るべきいくつかの条件につき説明する。

第1に、例えば数ワットの光出力が求められる。これは集積回路パターンの露光、転写に要する時間を短くして、スループットを高めるために必要である。

第2に、露光光が波長300nm以下の紫外光の場合には、投影光学系の屈折部材（レンズ）として使用できる光学材料が限られ、色収差の補正が難しくなってくる。このため露光光の単色性が必要であり、露光

光のスペクトル線幅は1 nm程度以下にすることが求められる。

第3に、このスペクトル線幅の狭帯化に伴い時間的コヒーレンス（可干渉性）が高くなるため、狭いスペクトル線幅（波長幅）の光をそのまま照射すると、スペックルと呼ばれる不要な干渉パターンが生ずる。従  
5 ってこのスペックルの発生を抑制するために、露光光源では空間的コヒーレンスを低下させる必要がある。

これらの条件を満たす従来の短波長の光源の一つは、レーザの発振波長自身が短波長であるエキシマレーザを用いた光源であり、もう一つは赤外又は可視域のレーザの高調波発生を利用した光源である。

10 このうち、前者の短波長光源としては、KrFエキシマレーザ（波長248 nm）が使用されており、現在では更に短波長のArFエキシマレーザ（波長193 nm）を使用する露光装置の開発が進められている。更に、エキシマレーザの仲間であるF<sub>2</sub>レーザ（波長157 nm）の使用も提案されている。しかし、これらのエキシマレーザは大型であるこ  
15 と、発振周波数が現状では数kHz程度であるため、単位時間当たりの照射エネルギーを高めるためには1パルス当たりのエネルギーを大きくする必要があり、このためにいわゆるコンパクション等によって光学部品の透過率変動等が生じやすいこと、メンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となることなどの種々の問題があった。

20 また後者の方法としては、非線形光学結晶の2次の非線形光学効果を利用して、長波長の光（赤外光、可視光）をより短波長の紫外光に変換する方法がある。例えば文献「"Longitudinally diode pumped continuous wave 3.5W green laser", L. Y. Liu, M. Oka, W. Wiechmann and S. Kubota; Optics Letters, vol. 19, p189 (1994)」では、半導体レーザ光  
25 で励起された固体レーザからの光を波長変換するレーザ光源が開示されている。この従来例では、Nd:YAGレーザの発する1064 nmの



レーザ光を、非線形光学結晶を用いて波長変換し、4倍高調波の266 nmの光を発生させる方法が記載されている。なお、固体レーザとは、レーザ媒質が固体であるレーザの総称である。

また、例えば特開平8-334803号公報及び対応する米国特許第5,838,709号では、半導体レーザを備えたレーザ光発生部と、このレーザ光発生部からの光を非線形光学結晶により紫外光に波長変換する波長変換部とから構成されるレーザ要素を複数個、マトリックス状（例えば $10 \times 10$ ）に束ねたアレイレーザが提案されている。

このような構成の従来のアレイレーザでは、個々のレーザ要素の光出力を低く抑えつつ、装置全体の光出力を高出力とすることができ、各非線形光学結晶への負担を軽減することができる。しかし、一方では、個々のレーザ要素が独立していることから、露光装置への適用を考慮した場合には、レーザ要素全体でその発振スペクトルを全幅で1 pm程度以下まで一致させる必要がある。

このため、例えば、各レーザ要素に自律的に同一波長の単一縦モード発振をさせるためには、各々のレーザ要素の共振器長を調整し、あるいは共振器中に波長選択素子を挿入したりする必要がある。しかし、これらの方法は、その調整が微妙であること、構成するレーザ要素が多くなればなるほど全体を同一波長で発振させるのに複雑な構成が必要になること等の問題があった。

一方、これら複数のレーザを能動的に単一波長化する方法としてインジェクションシード法がよく知られている（例えば、「Walter Koechner; Solid-state Laser Engineering, 3rd Edition, Springer Series in Optical Science, Vol.1, Springer-Verlag, ISBN 0-387-53756-2, p. 246-249」参照）。これは、発振スペクトル線幅の狭い単一のレーザ光源からの光を複数のレーザ要素に分岐し、このレーザ光を誘導波とし

て用いることにより、各レーザ要素の発振波長を同調させ、かつスペクトル線幅を狭帯域化するという方法である。しかし、この方法では、シード光を各レーザ要素に分岐する光学系や、発振波長の同調制御部を必要とするため構造が複雑になるという問題があった。

- 5      更に、このようなアレイレーザは、従来のエキシマレーザに比べて装置全体を格段に小さくすることが可能だが、それでもアレイ全体の出力ビーム径を数cm以下におさえるパッケージングは困難であった。また、このように構成されたアレイレーザでは、各アレイごとに波長変換部が必要となるため高価となること、アレイを構成するレーザ要素の一部に  
10   アライメントずれが生じた場合や構成する光学素子に損傷が発生した場合に、このレーザ要素の調整をするためには、一度アレイ全体を分解してそのレーザ要素を取り出し、調整した上で再度アレイを組み立て直す必要があること、などの課題があった。

- 15   本発明は斯かる点に鑑み、露光装置の光源に使用できると共に、装置を小型化でき、かつメンテナンスの容易なレーザ装置を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、発振周波数を高くして、かつ空間的コヒーレンスを低減できると共に、全体としての発振スペクトル線幅を簡単な構成で狭くできるレーザ装置を提供することを第2の目的とする。

- 20   更に本発明は、そのようなレーザ装置を露光光源として用いた露光方法、コンパクトで自由度の高い露光装置、及びこの露光装置の効率的な製造方法を提供することをも目的とする。

#### 発明の開示

- 25   本発明による各レーザ装置は、基本的に紫外光を発生するレーザ装置であって、赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を

発生するレーザ光発生部（１１）と、このレーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増幅器（２２，２５）を有する光増幅部（１８－１）と、この光増幅部によって増幅されたレーザ光を非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部（２０；２０Ａ；  
５ ２０Ｂ）とを備えたものである。

斯かる本発明の各レーザ装置によれば、そのレーザ光発生部としては、例えば発振波長が制御されたＤＦＢ（Distributed feedback）半導体レーザ、又はファイバーレーザ等の小型で発振スペクトルの狭い光源を使用することができる。そして、そのレーザ光発生部からの単一波長のレーザ光を光ファイバー増幅器で増幅した後、非線形光学結晶で紫外光に変換することによって、高出力で単一波長の狭いスペクトル幅の紫外光を得ることができる。従って、小型でかつメンテナンスの容易なレーザ装置を提供できる。

この場合、光ファイバー増幅器としては、例えばエルビウム（Er）・ドープ・光ファイバー増幅器（Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA）、イッテルビウム（Yb）・ドープ・光ファイバー増幅器（YDFA）、プラセオジウム（Pr）・ドープ・光ファイバー増幅器（PDFA）、又はツリウム（Tm）・ドープ・光ファイバー増幅器（TDFA）等を使用することができる。

また、本発明の波長変換部の構成については、複数の非線形光学結晶の２次高調波発生（SHG）及び和周波発生（SFG）の組み合わせによって、基本波に対して任意の整数倍の周波数（波長は整数分の１）の高調波よりなる紫外光を容易に出力することができる。この際に、できるだけ変換効率を高くする必要がある。

そこで、本発明の第１のレーザ装置では、その波長変換部（２０）は、その光増幅部によって増幅されたレーザ光を波長変換する複数の非線形

光学結晶（502～504）と、波長変換時の位相整合角の調整を行うためにその複数の非線形光学結晶のそれぞれの温度制御を行う複数の温度制御装置（521～523）とを備えている。このように温度制御によって全部の非線形結晶の位相整合角の調整（例えば最終的な微調整）を行うことによって、簡単な制御で変換効率を高くできる。また、このように波長変換のための位相整合を結晶の温度調節によって行う場合は、非臨界位相整合（Non-Critical Phase Matching: NCPM）を使用することができ、NCPMでは、非線形光学結晶内での基本波と高調波との間の角度ずれである「Walk-off」が起らないという利点もある。更に、位相整合角度の許容誤差（アクセプタンスアングル）が2桁程度大きい

ため、アライメント誤差を大きくできて、製造・組立が容易である。

また、本発明の第2のレーザ装置では、その波長変換部において、その複数の非線形光学結晶の少なくとも一つ、特に基本波及び7倍波から和周波発生による8倍波を紫外光として発生する部分（622）に四ほう酸リチウム（ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）の結晶、即ちLB4結晶を使用している。これによって高い変換効率を得られると共に、紫外光に対する耐久性に優れている。

また、本発明の第3のレーザ装置では、その波長変換部において、その複数の非線形光学結晶の少なくとも一つ、特に基本波及び7倍波から和周波発生による8倍波を紫外光として発生する部分（622）、又は4倍波から二次高調波発生による8倍波を紫外光として発生する部分（504）に $\text{K}_2\text{Al}_2\text{B}_4\text{O}_7$ の結晶、即ちKAB結晶を使用している。これによって高い変換効率を得られる。

また、本発明の第4のレーザ装置では、その波長変換部において、その複数の非線形光学結晶の少なくとも一つ、特に2倍波から4倍波を発生する部分（503）に $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ の結晶、即

ちGdYCOBの結晶を使用する。この際に、組成を表すパラメータ $x$   
( $0 \leq x \leq 1$ )の値を調整して複屈折率の調整を行って、4倍波の発生  
を非臨界位相整合(NCPM)で行えるような結晶にしておく。これに  
よって非線形光学結晶内での基本波(2倍波)と高調波(4倍波)との  
5 間の角度ずれである「Walk-off」が生じないため、発生した高調波も入  
射光と同じ対称性を保つ。従って、例えば次段で4倍波と3倍波とから  
7倍波を発生するような場合に、両者のビーム形状を合わせるために複  
雑なビーム補正を行うことなく、高い変換効率が得られる。

また、本発明の第5のレーザ装置では、紫外光を発生するレーザ装置  
10 であって、赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を  
発生するレーザ光発生部(11)と、該レーザ光発生部から発生された  
レーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部(18-1)  
と、この光増幅部によって増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結  
晶を用いて紫外光に波長変換すると共に、その複数個の非線形光学結  
15 晶の間でレーザ光をリレーする複数個のリレー光学系を備えた波長変換部  
とを備え、その複数個のリレー光学系中をそれぞれ1つの波長の光が通  
過する配置としたものである。

この場合、各リレー光学系中を1波長の光のみが通過するため、色収  
差の補正が容易になって、変換効率が向上する。この構成では、その波  
20 長変換部は、基本波の7倍波とその基本波とから8倍波を生成すると共  
に、その7倍波を生成する際に、基本波、2倍波、5倍波、及び6倍波  
中の2つの光の和周波発生を用いることが望ましい。これによって、例  
えば波長221nmの7倍波を発生する際に、 $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(BBO)結晶を用いる必要がなくなり、波長変換部の耐久性が向上する。こ  
25 れに対して、3倍波と4倍波とから7倍波を発生する場合には、7倍波  
を吸収し易いBBO結晶を用いる必要があるために、耐久性が低下する

恐れがある。

また、本発明の第6のレーザ装置は、紫外光を発生するレーザ装置であって、単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部(11)と、そのレーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部(18-1)と、その増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて波長が200nm程度以下の紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、その複数個の非線形光学結晶のうちその紫外光を発生する最終段の非線形光学結晶に四ほう酸リチウム又はKABの結晶を使用するものである。

これらの各レーザ装置においては、そのレーザ光発生部から発生するレーザ光を複数に分岐する光分岐部(14, 16-1~16-m)を更に備え、その光増幅部(18-1~18-n)はその複数に分岐されたレーザ光のそれぞれに独立に設けられると共に、その波長変換部は、その複数の光増幅部から出力されたレーザ光の束をまとめて波長変換することが望ましい。このように光分岐部で分岐したレーザ光に順次所定の光路長差を付与することで、最終的に束ねられるレーザ光の空間的コヒーレンスが低減できる。また、各レーザ光は共通のレーザ光発生部から発生しているため、最終的に得られる紫外光のスペクトル線幅は狭くなっている。

次に、本発明の第7のレーザ装置は、紫外光を発生するレーザ装置であって、赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部(11)と、このレーザ光発生部から発生されたレーザ光を複数の光束に分岐する光分岐部(14, 16-1~16-m)と、この光分岐部で分岐された複数の光束のそれぞれを光ファイバー増幅器(22, 25)を用いて増幅する複数の光増幅部(18-1~18-n)と、この複数の光増幅部からの複数の光束を束ねたレーザ光を複数個の非線形光学結晶(601, 604, 607, 615, 622)を

用いて紫外光に波長変換する波長変換部（20B）とを備え、その波長変換部は、そのレーザ光の基本波又は高調波よりなる第1ビーム（650）、及びそのレーザ光の高調波よりなる第2ビーム（660）の和周波発生によって高調波を発生する非線形結晶（615）と、その第1ビームを構成する複数の光束のそれぞれと、その第2ビームを構成する複数の光束のそれぞれとの大きさを整合させるために交差する2方向で倍率の異なる非等方的光学系（612）とを有するものである。

斯かる本発明によれば、小型でかつメンテナンスが容易であると共に、最終的に束ねられるレーザ光の空間的コヒーレンスが低減できる。また、各レーザ光は共通のレーザ光発生部から発生しているため、最終的に得られる紫外光のスペクトル線幅は狭くなっている。

更に、その波長変換部においては、波長変換で角度位相整合を行う場合、結晶の複屈折性により「Walk-off」が生じる。この場合、出力ビームは長円形状の非対称な形になる。この出力ビームを次段の非線形光学結晶に入射光として使う場合、変換効率をあげるためにビームを整形する必要がある。ビーム整形を行う過程で、縦と横との倍率が異なる光学系を使用することになる。5段の波長変換で193nm発生を行う構成例では、4倍波発生、及び7倍波発生で「Walk-off」が生じるため、これらの後に、シリンドリカル・レンズ対等の縦と横との倍率が異なる光学系が使用される。この場合、バンドル（複数の光束の束）を構成する複数の光束のそれぞれのビーム形状は整形されるが、バンドル全体の形状も使用したレンズ系の縦と横との倍率に対応した倍率により変形する。

例えば、4倍波出力を縦と横との倍率が異なる光学系により整形した場合については、次段の7倍波発生では4倍波と3倍波とのビームを重ねあわせる必要がある。ビームの重ねあわせでは、2つの光束において、バンドルの各ビーム位置を合わせることと、各々のビーム同士の重ねあ

わせが良いことが要求される。縦と横との倍率が異なる光学系により整形された4倍波は、バンドル全体の形状自体も使用したレンズ系の縦と横との倍率に対応した倍率により変形している。一方、3倍波のバンドル形状、及び個々のビーム形状は4倍波と異なるためこの2つを同時に調整する必要がある。このために、バンドル形状の整形を行う光学系の倍率と、個々のビーム形状の整形を行う光学系の倍率を独立に設定する必要がある。従って、通常のシリンドリカルレンズ対、あるいは、レンズとシリンドリカルレンズとの組み合わせ(609, 610)に加えて、各ビームの縦と横との倍率を違える非等方的光学系(612)、例えばシリンドリカルレンズのアレイ、プリズムのアレイ、又は微細な回折格子を所定の配列で分布させたDOE(Diffractive Optical Element:回折光学素子)等も合わせて用いることで、2つのビームの重なり部の割合が最大になり、高い変換効率が得られる。

その非等方的光学系の挿入位置としては、波長が赤外域又は可視域である基本波、又は低次(3次、4次等)の高調波の光路上が望ましい。これらの波長では、光学材料の選択自由度が広いため適切な材料を選べる。

更に、本発明において、そのレーザ光は光変調器等によって例えば100kHz程度の高い周波数で容易に変調することができる。従って、エキシマレーザ光(周波数は数kHz程度)を使用する場合に比べて、同じ照度を得るためにはパルスエネルギーを $1/1000 \sim 1/10000$ 程度にできるため、露光光源として用いた場合に、コンパクション等による光学部材の透過率変動が殆ど無くなり、安定にかつ高精度に露光を行うことができる。

そして、例えばレーザ光発生部で波長が $1.5 \mu\text{m}$ 、特に $1.544 \sim 1.552 \mu\text{m}$ に限定されたレーザ光を放射し、波長変換部でその基



本波の 8 倍高調波の発生を行う構成によって、ArFエキシマレーザと実質的に同一波長の 193～194 nm の紫外光が得られる。また、レーザ光発生部として波長が 1.5  $\mu$ m 付近、特に 1.57～1.58  $\mu$ m に限定されたレーザ光を放射し、波長変換部でその基本波の 10 倍高調波の発生を行う構成によって、F<sub>2</sub>レーザと実質的に同一波長の 157～158 nm の紫外光が得られる。同様に、例えばレーザ光発生部として波長が 1.1  $\mu$ m 付近、特に 1.099～1.106  $\mu$ m に限定されたレーザ光を放射し、波長変換部でその基本波の 7 倍高調波の発生を行う構成によって、F<sub>2</sub>レーザと実質的に同一波長の紫外光が得られる。

また、本発明の露光方法は、本発明のレーザ装置からの紫外光をマスクに照射し、このマスクのパターンを通過した紫外光で基板を露光するものである。そして、本発明の露光装置は、上記の本発明のレーザ装置を露光光源として用い、このレーザ装置からの紫外光をマスクに照射する照明系と、そのマスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系とを有し、そのマスクのパターンを通過した紫外光でその基板を露光するものである。本発明のレーザ装置の使用によって、露光装置全体を小型化でき、かつメンテナンスが容易になる。

また、本発明の露光装置の製造方法は、マスクを紫外光で照明し、そのマスクのパターンを通過した紫外光で基板を露光する露光装置の製造方法であって、上記の本発明のレーザ装置を露光光源として用い、このレーザ装置と、このレーザ装置からの紫外光をマスクに照射する照明系と、そのマスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系とを所定の位置関係で配置するものである。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施の形態の一例の紫外光発生装置を示す図である。

図 2 は、図 1 中の光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n の構成例を示す図である。図 3 において、(a) は図 1 中の波長変換部 20 の第 1 の構成例を示す図、(b) はその波長変換部 20 の第 2 の構成例を示す図である。図 4 は、その波長変換部 20 の第 3 の構成例を示す図である。図 5 は、図 4 において、非等方的な集光レンズを使用しない場合の 3 倍波と 4 倍波との重なりの状態を示す図である。図 6 は、図 4 の波長変換部における 3 倍波と 4 倍波との重なりの状態を示す図である。図 7 は、本発明の実施の形態の一例の紫外光発生装置を備えた投影露光装置を示す構成図である。図 8 は、本発明の波長変換部 20 の別の構成例を示す図である。図 9 は、本発明の波長変換部 20 の更に別の構成例を示す図である。図 10 は、本発明の波長変換部 20 の更に別の構成例を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好適な実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、ステッパ等の投影露光装置の紫外域の露光光源、又はアライメントや各種検査用の光源として使用できる紫外光発生装置に本発明のレーザ装置を適用したものである。

図 1 (a) は、本例の紫外光発生装置を示し、この図 1 (a) において、レーザ光発生部としての単一波長発振レーザ 11 からスペクトル幅の狭い単一波長の連続波 (CW) よりなる波長  $1.544 \mu\text{m}$  のレーザ光 LB1 が発生する。このレーザ光 LB1 は、逆向きの光を阻止するためのアイソレータ IS1 を介して光変調器としての光変調素子 12 に入射し、ここでパルス光のレーザ光 LB2 に変換されて光分岐増幅部 4 に入射する。

光分岐増幅部 4 に入射したレーザ光 LB2 は、先ず前段の光増幅部と

しての光ファイバー増幅器 13 を通過して増幅された後、アイソレータ I S 2 を介して第 1 の光分岐素子としての平面導波路型のスプリッタ 14 に入射して、 $m$ 本のほぼ同一強度のレーザ光に分岐される。 $m$ は 2 以上の整数であり、本例では $m = 4$ である。光ファイバー増幅器 13 としては、単一波長発振レーザ 11 から発生されるレーザ光 L B 1 と同じ波長域（本例では  $1.544 \mu\text{m}$  付近）の光を増幅するために、エルビウム・ドープ・光ファイバー増幅器（Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA）が使用されている。なお、光ファイバー増幅器 13 には不図示のカップリング用の波長分割多重素子を介して不図示の励起用の半導体レーザからの波長（ $980 \pm 10$ ）nm 又は（ $1480 \pm 30$ ）nm の励起光が供給されている。EDFA において非線形効果による波長の広がり防止するためには、励起光として波長（ $980 \pm 10$ ）nm のレーザ光を使用して、ファイバー長を短くすることが望ましい。これは後段の光ファイバー増幅器についても同様である。

なお、イッテルビウム（Yb）・ドープ・光ファイバー、及びエルビウムとイッテルビウムとをコ・ドープした光ファイバーの励起光としては（ $970 \pm 10$ ）nm の光が使用できる。

スプリッタ 14 から射出された  $m$ 本のレーザ光は、互いに異なる長さの光ファイバー 15-1, 15-2, ..., 15- $m$  を介してそれぞれ第 2 の光分岐素子としての平面導波路型のスプリッタ 16-1, 16-2, ..., 16- $m$  に入射して、それぞれほぼ同一強度の  $n$ 本のレーザ光に分岐される。 $n$ は 2 以上の整数であり、本例では $n = 32$ である。第 1 の光分岐素子（14）及び第 2 の光分岐素子（16-1 ~ 16- $m$ ）が本発明の一実施形態における光分岐部に対応する。その結果、単一波長発振レーザ 11 から射出されるレーザ光 L B 1 は、全体として  $n \cdot m$ 本（本例では 128 本）のレーザ光に分割される。

そして、スプリッタ 16-1 から射出された n 本のレーザ光 LB 3 は、互いに異なる長さの光ファイバー 17-1, 17-2, ..., 17-n を介してそれぞれ後段の光増幅部としての光増幅ユニット 18-1, 18-2, ..., 18-n に入射して増幅される。光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n は、単一波長発振レーザ 11 から発生されるレーザ光 LB 1 と同じ波長域（本例では 1.544  $\mu$ m 付近）の光を増幅する。同様に他のスプリッタ 16-2 ~ 16-m から射出された n 本のレーザ光も、それぞれ互いに異なる長さの光ファイバー 17-1 ~ 17-n を介して後段の光増幅部としての光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n に入射して増幅される。

m 組の光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n で増幅されたレーザ光は、それぞれ光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n 内の所定の物質がドープされた光ファイバー（後述）の射出端の延長部を伝播し、これらの延長部が光ファイバー・バンドル 19 を構成する。光ファイバー・バンドル 19 を構成する m 組の n 本の光ファイバーの延長部の長さは互いにほぼ同一である。但し、光ファイバー・バンドル 19 を m · n 本の互いに同じ長さの無ドープの光ファイバーを束ねて形成すると共に、光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n で増幅されたレーザ光をそれぞれ対応する無ドープの光ファイバーに導いてもよい。光ファイバー増幅器 13 から光ファイバー・バンドル 19 までの部材より光分岐増幅部 4 が構成されている。なお、光分岐増幅部 4 は図 1 の構成に限られるものではなく、例えば光分岐装置として時分割型光分岐素子（Time Division Multiplexer）などを用いてもよい。

光ファイバー・バンドル 19 から射出されたレーザ光 LB 6 は、非線形光学素子を有する波長変換部 20 に入射して紫外光よりなるレーザ光 LB 5 に変換され、このレーザ光 LB 5 が露光光、アライメント光、又

は検査用の光として外部に射出される。m組の光増幅ユニット18-1～18-nがそれぞれ本発明の光増幅部に対応しているが、この光増幅部に光ファイバー・バンドル19の光ファイバーを含める場合もある。

5 また、光ファイバー・バンドル19の出力端19aは、図1(b)に示すように、m・n本（本例では128本）の光ファイバーを密着するように、かつ外形が円形になるように束ねている。実際には、その出力端19aの形状及び束ねる光ファイバーの数は、後段の波長変換部20の構成、及び本例の紫外光発生装置の使用条件等に応じて定められる。光ファイバー・バンドル19を構成する各光ファイバーのクラッド直径  
10 は125 $\mu$ m程度であることから、128本を円形に束ねた場合の光ファイバー・バンドル19の出力端19aの直径d1は、約2mm以下とすることができる。

また、本例の波長変換部20では、入射するレーザ光LB6を8倍高調波（波長は1/8）、又は10倍高調波（波長は1/10）よりなる  
15 レーザ光LB5に変換する。単一波長発振レーザ11から射出されるレーザ光LB1の波長は1.544 $\mu$ mであるため、8倍高調波の波長はArFエキシマレーザと同じ193nmとなり、10倍高調波の波長はF<sub>2</sub>レーザ（フッ素レーザ）の波長（157nm）とほぼ同じ154nmとなる。なお、レーザ光LB5の波長をよりF<sub>2</sub>レーザ光の波長に近  
20 付けたい場合には、波長変換部20で10倍高調波を生成すると共に、単一波長発振レーザ11では波長1.57 $\mu$ mのレーザ光を発生すればよい。

実用的には、単一波長発振レーザ11の発振波長を1.544～1.552 $\mu$ m程度に規定して、8倍波に変換することにより、ArFエキ  
25 シマレーザと実質的に同一波長（193～194nm）の紫外光が得られる。そして、単一波長発振レーザ11の発振波長を1.57～1.5

8  $\mu\text{m}$ 程度に規定して、10倍波に変換することによってF<sub>2</sub>レーザと実質的に同一波長（157～158 nm）の紫外光が得られる。従って、これらの紫外光発生装置をそれぞれArFエキシマレーザ光源、及びF<sub>2</sub>レーザ光源に代わる安価でメンテナンスの容易な光源として使用することができる。

なお、最終的にArFエキシマレーザ、又はF<sub>2</sub>レーザ等に近い波長域の紫外光を得る代わりに、例えば製造対象の半導体デバイス等のパターンルールより最適な露光波長（例えば160 nm等）を決定し、この理論的に最適な波長の紫外光を得るように単一波長発振レーザ11の発振波長や波長変換部20における高調波の倍率を決定するようにしてもよい。即ち、波長変換部20から発生する紫外光はその波長が任意（一例としては200 nm程度以下）でよいし、8倍波及び10倍波以外でもよく、波長変換部20の構成は任意で構わない。

以下、本実施形態についてより詳細に説明する。図1（a）において、単一波長で発振する単一波長発振レーザ11としては、例えば発振波長1.544  $\mu\text{m}$ 、連続波出力（以下、「CW出力」ともいう）で出力が20 mWのInGaAsP構造のDFB（Distributed feedback：分布帰還型）半導体レーザを用いる。ここでDFB半導体レーザとは、縦モード選択性の低いファブリーペロー型共振器の代わりに、回折格子を半導体レーザ内に形成したもので、どのような状況下であっても単一縦モード発振を行うように構成されている。DFB半導体レーザは、基本的に単一縦モード発振をすることから、その発振スペクトル線幅は0.01 pm以下に抑えられる。なお、単一波長発振レーザ11としては、同様の波長領域で狭帯域化されたレーザ光を発生する光源、例えばエルビウム（Er）・ドープ・ファイバー・レーザ等をも使用することができる。

更に、本例の紫外光発生装置の出力波長は用途に応じて特定波長に固定することが望ましい。そのため、マスター発振器 (Master Oscillator) としての単一波長発振レーザ 11 の発振波長を一定波長に制御するための発振波長制御装置を設けている。本例のように単一波長発振レーザ 11 として DFB 半導体レーザを用いる場合には、DFB 半導体レーザの温度制御を行うことにより発振波長を制御することができ、この方法により発振波長を更に安定化して一定の波長に制御したり、あるいは出力波長を微調整することができる。

通常、DFB 半導体レーザなどはヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に収納されている。そこで本例では、単一波長発振レーザ 11 (DFB 半導体レーザなど) に付設されるヒートシンクに温度調整部 5 (例えばヒータ等の加熱素子、ペルチェ素子等の吸熱素子、及びサーミスタ等の温度検出素子よりなる) を固定し、その温度調整部 5 の動作をコンピュータよりなる制御部 1 が制御して、そのヒートシンク、ひいては単一波長発振レーザ 11 の温度を高精度に制御する。ここで、DFB 半導体レーザなどではその温度を  $0.001^{\circ}\text{C}$  単位で制御することが可能である。また、制御部 1 は、ドライバ 2 を介して単一波長発振レーザ 11 を駆動するための電力 (DFB 半導体レーザでは駆動電流) を高精度に制御する。

DFB 半導体レーザの発振波長は  $0.1\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$  程度の温度依存性を持つため、その DFB 半導体レーザの温度を例えば  $1^{\circ}\text{C}$  変化させると、基本波 (波長  $1544\text{ nm}$ ) ではその波長が  $0.1\text{ nm}$  変化する。従って、8 倍波 ( $193\text{ nm}$ ) ではその波長が  $0.0125\text{ nm}$  変化し、10 倍波 ( $157\text{ nm}$ ) ではその波長が  $0.01\text{ nm}$  変化することになる。なお、レーザ光 LB 5 を露光装置に使用する場合には、例えば露光装置が設置される環境の大気圧差による結像特性の誤差、又は結像特性の変

動による誤差等を補正するために、その中心波長に対して $\pm 20 \text{ pm}$ 程度変化できることが望ましい。このためには、DFB半導体レーザの温度を8倍波では $\pm 1.6^\circ\text{C}$ 程度、10倍波では $\pm 2^\circ\text{C}$ 程度変化させればよく、これは実用的である。

- 5       そして、この発振波長を所定の波長に制御する際のフィードバック制御のモニター波長としては、DFB半導体レーザの発振波長、あるいは後述する波長変換部20内での波長変換後の高調波出力（2倍波、3倍波、4倍波等）の内から所望の波長制御を行うに当たって必要な感度を与え、かつ最もモニターしやすい波長を選択すればよい。単一波長発振
- 10       レーザ11として例えば発振波長 $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$ のDFB半導体レーザを使用する場合に、この発振されるレーザ光の3倍波は $503 \text{ nm} \sim 530 \text{ nm}$ の波長になるが、この波長帯はヨウ素分子の吸収線が密に存在する波長域に該当しており、ヨウ素分子の適切な吸収線を選んでその波長にロックすることにより精密な発振波長制御を行うことが可能である。そこで、本例では波長変換部20内の所定の高調波（望ましくは3倍波）をヨウ素分子の適切な吸収線（基準波長）と比較し、その波長のずれ量を制御部1にフィードバックし、制御部1ではそのずれ量が所定の一定値になるように単一波長発振レーザ11の温度を制御する。
- 15       逆に、制御部1では、その単一波長発振レーザ11の発振波長を積極的に変化させてその出力波長を調整可能にしてもよい。
- 20

本例の紫外光発生装置を例えば露光装置の露光光源に適用する場合、前者によれば、波長変動による投影光学系の収差の発生、又はその変動が防止され、パターン転写中にその像特性（像質などの光学的特性）が変化することがなくなる。

- 25       また、後者によれば、露光装置が組立、調整される製造現場と露光装置の設置場所（納入先）との標高差や気圧差、更には環境（クリーンル



ーム内の雰囲気)の違いなどに応じて生じる投影光学系の結像特性(収差など)の変動を相殺でき、納入先で露光装置の立ち上げに要する時間を短縮することが可能になる。更に後者によれば、露光装置の稼働中に、露光用照明光の照射、大気圧変化、及び照明光学系によるレチクルの照明条件(即ち、照明光学系の瞳面上での露光用照明光の光量分布)の変更などに起因して生じる投影光学系の収差、投影倍率、及び焦点位置などの変動も相殺でき、常に最良の結像状態でパターン像を基板上に転写することが可能となる。

単一波長発振レーザ11から出力される連続光よりなるレーザ光LB1は、例えば電気光学光変調素子や音響光学光変調素子などの光変調素子12を用いて、パルス光よりなるレーザ光LB2に変換される。光変調素子12は、制御部1によってドライバ3を介して駆動されている。本構成例では一例として、この光変調素子12によってパルス幅1ns、繰り返し周波数100kHz(パルス周期10μs)のパルス光に変調させた場合について説明を行う。この様な光変調を行った結果、光変調素子12から出力されるパルス光のピーク出力は20mW、平均出力は2μWとなる。ここでは、光変調素子12の挿入による損失がないものとしたが、実際にはその挿入損失がある。例えば損失が-3dBである場合、パルス光のピーク出力は10mW、平均出力は1μWとなる。

なお、光変調素子12として電気光学変調素子を用いる場合には、屈折率の時間変化に伴うチャープによる半導体レーザ出力の波長広がり小さくなるように、チャープ補正を行った電極構造を持つ電気光学変調素子(例えば二電極型変調器)を用いることが好ましい。また、繰り返し周波数を100kHz程度以上に設定することにより、後述する光増幅ユニット18-1~18-n内の光ファイバー増幅器においてASE(Amplified Spontaneous Emission: 自然放出光)ノイズの影響による

増幅率低下を阻止することができる。更に、最終的に出力される紫外光の照度が従来のエキシマレーザ光（パルス周波数は数kHz程度）と同程度でよい場合には、本例のようにパルス周波数を高め、各パルス光を例えば128個の遅延パルス光の集合とすることによって、各パルス当たりのエネルギーを $1/1000 \sim 1/10000$ 程度に小さくすることができ、コンパクション等による光学部材（レンズ等）の屈折率変動等を小さくすることができる。従って、そのような変調器構成とすることが望ましい。

更に、半導体レーザなどではその電流制御を行うことで、出力光をパルス発振させることができる。このため、本例では単一波長発振レーザ11（DFB半導体レーザなど）の電力制御と光変調素子12とを併用してパルス光を発生させることが好ましい。そこで、単一波長発振レーザ11の電力制御によって、例えば10～20ns程度のパルス幅を有するパルス光を発振させると共に、光変調素子12によってそのパルス光からその一部のみを切り出す、即ち本例ではパルス幅が1nsのパルス光に変調する。

これにより、光変調素子12のみを用いる場合に比べて、パルス幅が狭いパルス光を容易に発生させることが可能になると共に、パルス光の発振間隔や発振の開始及びその停止などをより簡単に制御することが可能になる。特に、光変調素子12のみを用いてパルス光をオフの状態にしてもその消光比が充分でない場合には、単一波長発振レーザ11の電力制御を併用することが望ましい。

このようにして得たパルス光出力を、初段のエルビウム・ドープの光ファイバー増幅器13に接続し、35dB（3162倍）の光増幅を行う。このときパルス光は、ピーク出力約63W、平均出力約6.3mWとなる。なお、この光ファイバー増幅器13の代わりに複数段の光ファ

イバー増幅器を使用してもよい。

その初段の光ファイバー増幅器 1 3 の出力を、スプリッタ 1 4 でまず  
チャンネル 0 ~ 3 の 4 個の出力（本例では  $m = 4$ ）に並列分割する。この  
チャンネル 0 ~ 3 の各出力を、各々長さの異なる光ファイバー 1 5 - 1 ~  
5 1 5 - 4 に接続することにより、各光ファイバーからの出力光には、光  
ファイバー長に対応した遅延時間が与えられる。例えば本実施形態では、  
光ファイバー中の光の伝搬速度を  $2 \times 10^8 \text{ m/s}$  であるとし、チャネ  
ル 0、1、2、3 にそれぞれ 0.1 m、19.3 m、38.5 m、57.  
7 m の長さの光ファイバー 1 5 - 1 ~ 1 5 - 4 を接続する。この場合、  
10 各光ファイバーの出口での隣り合うチャンネル間の光の遅延は 96 ns と  
なる。この様に光を遅延させるための遅延素子として使用する光ファイ  
バー 1 5 - 1 ~ 1 5 - 4 を、便宜的に「遅延ファイバー」と呼ぶ。

次に、その 4 本の遅延ファイバーの出力を、4 個のスプリッタ 1 6 -  
1 ~ 1 6 - 4 で更に 32 個（本例では  $n = 32$ ）の出力に並列分割（各  
15 スプリッタでチャンネル 0 ~ 31）し、合計  $4 \times 32$  個（= 128 個）の  
チャンネルに分割する。そして、各スプリッタ 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 のチャ  
ネル 0 ~ 31 の出力端に再び互いに長さの異なる光ファイバー（遅延フ  
ァイバー）1 7 - 1 ~ 1 7 - 32 を接続して、隣接するチャンネル間に 3  
ns の遅延時間を与える。これによって、チャンネル 31 の出力には、9  
20 3 ns の遅延時間が与えられる。一方、第 1 から第 4 までの各スプリッ  
タ 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 間には、前記のように遅延ファイバーによって、  
各スプリッタの入力時点で各々 96 ns の遅延時間が与えられている。  
この結果、全体で総計 128 チャンネルの出力端で、隣り合うチャンネル間  
に 3 ns の遅延時間を持つパルス光が得られる。

25 この結果、本例では光ファイバー・バンドル 1 9 から射出されるレー  
ザ光 LB 6 の空間的コヒーレンスが、単に単一波長発振レーザ 1 1 から

射出されるレーザ光LB1の断面形状を拡大した場合に比べてほぼ1/128のオーダーで低下する。従って、最終的に得られるレーザ光LB5を露光光として用いた場合に生じるスペックルの量は極めて少ない利点がある。

- 5       以上の分岐及び遅延により、総計128チャンネルの出力端では、隣り合うチャンネル間で3 nsの遅延時間を持つパルス光が得られるが、このとき各々の出力端で観測される光パルスは、光変調素子12によって変調されたパルス光と同じ100 kHz（パルス周期10  $\mu$ s）である。従って、レーザ光発生部全体として見ると、128パルスが3 ns間隔  
10       で発生した後、9.62  $\mu$ sの間隔を置いて次のパルス列が発生するという繰り返しが100 kHzで行われる。

- なお本実施形態では、分割数を128とし、また遅延ファイバーとして短いものを用いた例について説明した。このため各パルス列の間に9.62  $\mu$ sの無発光の間隔が生じたが、分割数m, nを増加させる、又は  
15       遅延ファイバーをより長くして適切な長さとする、あるいはこれらを組み合わせる用いることにより、パルス間隔を完全な等間隔とすることも可能である。

- 以上より本例のスプリッタ14、光ファイバー15-1～15-m、スプリッタ16-1～16-m、及びm組の光ファイバー17-1～1  
20       7-nは、全体として時分割多重（Time Division Multiplexing: TDM）手段を構成しているともみなすことができる。なお、本例では時分割多重手段を2段のスプリッタによって構成しているが、それを3段以上のスプリッタで構成してもよく、又は分割数は少なくなるが1段のスプリッタのみで構成してもよい。また、本例のスプリッタ14、16-1～16-mは平板導波路型であるが、それ以外に例えばファイバース  
25       プリッタや、部分透過鏡を用いたビームスプリッタ等も使用することが

できる。

また、本例では光変調素子 1 2 に印加するドライブ用電圧パルスのタイミングを制御することによって、光源（パルス光）の発振タイミング、即ち繰り返し波数  $f$  を調整することができる。更に、この発振タイミングの変更に伴ってパルス光の出力が変動し得る場合には、光変調素子 1 2 に印加するドライブ用電圧パルスの大きさも同時に調整してその出力変動を補償するようにしてもよい。このとき、単一波長発振レーザ 1 1 の発振制御のみ、あるいは前述した光変調素子 1 2 の制御との併用によってそのパルス光の出力変動を補償するようにしても良い。

図 1 (a) において、 $m$  組の遅延ファイバー（光ファイバー 1 7 - 1 ~ 1 7 -  $n$ ）を通過したレーザ光はそれぞれ光増幅ユニット 1 8 - 1 ~ 1 8 -  $n$  に入射して増幅される。本例の光増幅ユニット 1 8 - 1 ~ 1 8 -  $n$  は光ファイバー増幅器を備えている。以下では、光増幅ユニット 1 8 - 1 として使用できる光増幅ユニット 1 8 の構成例につき説明するが、これらは他の光増幅ユニット 1 8 - 2 ~ 1 8 -  $n$  としても同様に使用することができる。

図 2 は、光増幅ユニット 1 8 を示し、この図 2 において、光増幅ユニット 1 8 は基本的に 2 段のそれぞれエルビウム・ドープ・光ファイバー増幅器（Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA）よりなる光ファイバー増幅器 2 2 及び 2 5 を接続して構成されている。そして、1 段目の光ファイバー増幅器 2 2 の両端部には、励起光をカップリングするための波長分割多重（Wavelength Division Multiplexing: WDM）素子（以下、「WDM 素子」と言う）2 1 A 及び 2 1 B が接続され、WDM 素子 2 1 A 及び 2 1 B によってそれぞれ励起光源としての半導体レーザ 2 3 A からの励起光 EL 1 及び半導体レーザ 2 3 B からの励起光が、光ファイバー増幅器 2 2 に前後から供給されている。同様に、2 段目の光

ファイバー増幅器 2 5 の両端部にも、カップリング用の WDM 素子 2 1 C 及び 2 1 D が接続され、WDM 素子 2 1 C 及び 2 1 D によってそれぞれ半導体レーザ 2 3 C 及び 2 3 D からの励起光が光ファイバー増幅器 2 5 に前後から供給されている。即ち、光ファイバー増幅器 2 2, 2 5 は  
5 共に双方向励起型である。

光ファイバー増幅器 2 2, 2 5 はそれぞれ入射するレーザ光 L B 3 (本例では波長  $1.544 \mu\text{m}$ ) の波長を含む例えば約  $1.53 \sim 1.56 \mu\text{m}$  程度の波長域の光を増幅する。また、光ファイバー増幅器 2 2, 2 5 の境界部である WDM 素子 2 1 B と WDM 素子 2 1 C との間に、狭  
10 帯域フィルタ 2 4 A 及び戻り光を阻止するためのアイソレータ I S 3 が配置されている。狭帯域フィルタ 2 4 A としては多層膜フィルタ、又はファイバー・ブラッグ・グレーティング (Fiber Bragg Grating) が使用できる。

本例において、図 1 (a) の光ファイバー 1 7 - 1 からのレーザ光 L B 3 は、WDM 素子 2 1 A を介して光ファイバー増幅器 2 2 に入射して  
15 増幅される。この光ファイバー増幅器 2 2 で増幅されたレーザ光 L B 3 は、WDM 素子 2 1 B、狭帯域フィルタ 2 4 A、アイソレータ I S 3、及び WDM 素子 2 1 C を介して光ファイバー増幅器 2 5 に入射して再び増幅される。増幅されたレーザ光 L B 3 は、WDM 素子 2 1 D を介して  
20 図 1 (a) の光ファイバー・バンドル 1 9 を構成する 1 本の光ファイバー (光ファイバー増幅器 2 5 の射出端の延長部でもよい) を伝播する。

この場合、2 段の光ファイバー増幅器 2 2 及び 2 5 による合計の増幅利得は一例として約  $46 \text{ dB}$  ( $39810$  倍) である。そして、図 1 (b) のスプリッタ 1 6 - 1  $\sim$  1 6 - m から出力される全チャネル数  
25 (m  $\cdot$  n 個) を  $128$  個として、各チャネルの平均出力を約  $50 \mu\text{W}$  とすると、全チャネル合計での平均出力は約  $6.4 \text{ mW}$  となる。その各チ

チャネルのレーザ光をそれぞれ約 46 dB で増幅すると、各光増幅ユニット 18-1 ~ 18-n から出力されるレーザ光の平均出力はそれぞれ約 2 W となる。これをパルス幅 1 ns、パルス周波数 100 kHz でパルス化したものとする、各レーザ光のピーク出力は 20 kW となる。また、光ファイバー・バンドル 19 から出力されるレーザ光 LB6 の平均出力は約 256 W となる。

ここでは、図 1 (a) のスプリッタ 14、16-1 ~ 16-m での結合損失を考慮していないが、その結合損失がある場合にはその損失分だけ光ファイバー増幅器 22、25 の少なくとも 1 つの増幅利得を上げることにより、各チャネルのレーザ光の出力を上記の値（例えばピーク出力 20 kW など）に均一化することができる。なお、図 2 の光ファイバー増幅器 22 及び 25 による増幅利得を変化させることで、図 1 (a) の単一波長発振レーザ 11 の出力（基本波の出力）を前述した値よりも大きくしたり、あるいは小さくしたりすることができる。

図 2 の構成例において、狭帯域フィルタ 24A は、図 1 (a) の光ファイバー増幅器 13 及び図 2 の光ファイバー増幅器 22 でそれぞれ発生する ASE (Amplified Spontaneous Emission) 光をカットし、かつ図 1 (a) の単一波長発振レーザ 11 から出力されるレーザ光（波長幅は 1 pm 程度以下）を透過させることで、透過光の波長幅を実質的に狭帯化するものである。これにより、ASE 光が後段の光ファイバー増幅器 25 に入射してレーザ光の増幅利得を低下させるのを防止することができる。ここで、狭帯域フィルタ 24A はその透過波長幅が 1 pm 程度であることが好ましいが、ASE 光の波長幅は数十 nm 程度であるので、現時点で得られる透過波長幅が 100 pm 程度の狭帯域フィルタを用いても実用上問題がない程度に ASE 光をカットすることができる。

また、図 1 (a) の単一波長発振レーザ 11 の出力波長を積極的に変

化させる場合、その出力波長に応じて狭帯域フィルタ 24 A を交換するようにしてもよいが、その出力波長の可変幅（露光装置では一例として前述した  $\pm 20 \text{ pm}$  程度）に応じた透過波長幅（可変幅と同程度以上）を持つ狭帯域フィルタを用いることが好ましい。更に、アイソレータ I S 3 によって戻り光の影響が低減されて、更に A S E ノイズが低減しているために、最終段の光ファイバー増幅器 25 の他の非線形効果である S R S（Stimulated Raman Scattering）及び S B S（Stimulated Brillouin Scattering）の影響も低減されるため、波長幅の広がりが増幅される。光増幅ユニット 18 は例えば 3 段以上の光ファイバー増幅器を接続して構成することも可能であるが、この場合にも隣接する 2 つの光ファイバー増幅器の境界部の全てに狭帯域フィルタ 24 A 及びアイソレータ I S 3 を挿入することが望ましい。

また、本例では多数の光増幅ユニット 18 の出力光を束ねて使用するため、各出力光の強度の分布を均一化することが望ましい。このためには、例えば WDM 素子 21 D から射出されるレーザ光 L B 3 の一部を分離し、この分離された光を光電変換することによって、射出されるレーザ光 L B 3 の光量をモニタし、この光量が全部の光増幅ユニット 18 でほぼ均一になるように、各光増幅ユニット 18 における励起光源（半導体レーザ 23 A ~ 23 D）の出力を制御すればよい。

なお、上記の実施の形態では、単一波長発振レーザ 11 として発振波長が  $1.544 \mu\text{m}$  程度のレーザ光源が使用されているが、その代わりに発振波長  $1.099 \sim 1.106 \mu\text{m}$  程度のレーザ光源を使用してもよい。このようなレーザ光源としては、D F B 半導体レーザあるいはイッテルビウム（Yb）・ドープ・ファイバーレーザが使用できる。この場合には、後段の光増幅部中の光ファイバー増幅器としては、その波長を含む  $990 \sim 1200 \text{ nm}$  程度の波長域で増幅を行うイッテルビウム



(Yb)・ドープ・光ファイバー増幅器(YDFA)を使用すればよい。この場合には、図1(b)の波長変換部20において、7倍波を出力することによって、F<sub>2</sub>レーザと実質的に同一の波長157～158nmの紫外光が得られる。実用的には、発振波長を1.1μm程度とすることで、F<sub>2</sub>レーザとほぼ同一波長の紫外光が得られる。

更には、単一波長発振レーザ11での発振波長を990nm付近として、波長変換部20で基本波の4倍波を出力するようにしてもよい。これによって、KrFエキシマレーザと同一の波長248nmの紫外光を得ることが可能である。

なお、上記の実施形態における最終段の高ピーク出力の光ファイバー増幅器(例えば図2の光ファイバー増幅器25)においては、ファイバー中での非線形効果による増幅光のスペクトル幅の増加を避けるため、ファイバーモード径が通常通信で用いられているもの(5～6μm)よりも広い、例えば20～30μmの大モード径ファイバーを使用することが望ましい。

更に、最終段の光ファイバー増幅器(例えば図2の光ファイバー増幅器25)において高出力を得るためには、その大モード径ファイバーに代えて、ファイバー・クラッドが二重構造となったダブル・クラッド・ファイバーを用いるようにしてもよい。この光ファイバーでは、コアの部分にレーザ光の増幅に寄与するイオンがドープされており、増幅されるレーザ光(信号)がこのコア内を伝搬する。そして、コアを取り巻く第1クラッドに励起用半導体レーザをカップリングする。この第1クラッドはマルチモードであり、断面積も大きいため高出力の励起用半導体レーザ光の伝導が容易であり、マルチモード発振の半導体レーザを効率よくカップリングし、励起用光源を効率よく使用することができる。その第1クラッドの外周には第1クラッドの導波路を形成するための第2

クラッドが形成されている。

また、上記の実施の形態の光ファイバー増幅器として石英ファイバー、又はシリケート系ファイバーを用いることができるが、これらの他にフッ化物系ファイバー、例えばZBLANファイバーを用いるようにしてもよい。このフッ化物系ファイバーでは、石英やシリケート系などに比べてエルビウム・ドープ濃度を大きくすることができ、これにより増幅に必要なファイバー長を短縮することができる。このフッ化物系ファイバーは、特に最終段の光ファイバー増幅器（図2の光ファイバー増幅器25）に適用することが望ましく、ファイバー長の短縮により、パルス光のファイバー伝播中の非線形効果による波長幅の広がりを抑えることができ、例えば露光装置に必要な波長幅が狭帯化された光源を得ることが可能となる。特に開口数が大きい投影光学系を有する露光装置でこの狭帯化光源が使用できることは、例えば投影光学系を設計、製造する上で有利である。

更に、フォスフェイトガラス、又は酸化ビスマス系ガラス（ $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ ）を主材とする光ファイバーを、特に最終段の光ファイバー増幅器として用いるようにしてもよい。ここで、フォスフェイトガラス光ファイバーでは、高密度に希土類元素（例えばエルビウム（Er）、又はエルビウム（Er）とイッテルビウム（Yb）との両方）をコアに添加（ドープ）することができ、同一の光増幅率を得るために必要なファイバ長が従来のシリカガラス光ファイバーの1/100程度となる。また、酸化ビスマス系ガラス光ファイバーでは、従来のシリカガラスと比べて、エルビウム（Er）のドープ量を100倍程度以上にすることができ、フォスフェイトガラスの場合と同様の効果を得ることができる。

ところで、前述のように二重構造のクラッドを持つ光ファイバー増幅器の出力波長として1.51～1.59  $\mu\text{m}$ を使用する場合には、ドー

プするイオンとしてエルビウム (Er) に加えイッテルビウム (Yb) を共にドーピングすることが好ましい。これは半導体レーザによる励起効率を向上させる効果があるためである。即ち、エルビウムとイッテルビウムとの両方をドーピングする場合、イッテルビウムの強い吸収波長が 915 ~ 975 nm 付近に広がっており、この近傍の波長で各々異なる発振波長を持つ複数の半導体レーザを波長分割多重 (WDM) により結合させて第 1 クラッドにカップリングすることで、その複数の半導体レーザを励起光として使用できるため大きな励起強度を実現することができる。

また、光ファイバー増幅器のドーピング・ファイバーの設計については、本例のように予め定められた一定の波長で動作する装置 (例えば露光装置) では、所望の波長における光ファイバー増幅器の利得が大きくなるように材質を選択することが望ましい。例えば、ArF エキシマレーザと同じ出力波長 (193 ~ 194 nm) を得るための紫外レーザ装置において、光増幅器用ファイバーを用いる場合には所望の波長、例えば 1.548  $\mu\text{m}$  で利得が大きくなる材質を選ぶことが望ましい。

しかしながら、通信用ファイバーでは波長分割多重化通信のため、1.55  $\mu\text{m}$  付近の数十 nm の波長領域で、比較的平坦な利得を持つように設計されている。そこで、例えば励起媒質としてエルビウム単ドーピングのコアを持つ通信用ファイバーでは、この平坦な利得特性を実現するために、アルミニウムやリンをシリカファイバーにコ・ドーピングする手法が用いられる。このためこの種のファイバーでは、1.548  $\mu\text{m}$  で必ずしも利得が大きくなる。また、ドーピング元素のアルミニウムは、1.55  $\mu\text{m}$  付近のピークを長波長側にシフトさせ、リンは短波長側にシフトさせる効果を持つ。従って、1.547  $\mu\text{m}$  近傍で利得を大きくするためには、少量のリンをドーピングすればよい。同様に、例えばエルビウムとイッテルビウムとを共にドーピング (コ・ドーピング) したコアを持つ光増幅

器用ファイバー（例えば前記ダブル・クラッド・タイプのファイバー）を用いる場合にも、コアに少量のリンを加えることにより、 $1.547\ \mu\text{m}$ 付近でより高い利得を得ることができる。

次に、図1の実施の形態の紫外光発生装置における波長変換部20のいくつかの構成例につき説明する。

図3(a)は、2次高調波発生を繰り返して8倍波を得ることができる波長変換部20を示し、この図3(a)において、光ファイバー・バンドル19の出力端19aは、拡大して示されているように例えば128本の光ファイバーをほぼ2mm程度以下の円形に束ねたものである。

そして、その各光ファイバー中の直径がほぼ $20\ \mu\text{m}$ 程度のモード部（コア部）からそれぞれ波長 $1.544\ \mu\text{m}$ （周波数を $\omega$ とする）のレーザ光が所定の開き角（開口数）を持つ状態で射出され、これらのレーザ光を束ねた光が全体としてレーザ光LB6となっている。

そのレーザ光LB6（基本波）は、1段目の非線形光学結晶502に入射し、ここでの2次高調波発生により基本波の2倍の周波数 $2\omega$ （波長は $1/2$ の $772\ \text{nm}$ ）の2倍波が発生する。この2倍波は、集光レンズ505を経て2段目の非線形光学結晶503に入射し、ここでも再び2次高調波発生により、入射波の周波数 $2\omega$ の2倍、即ち基本波に対し4倍の周波数 $4\omega$ （波長は $1/4$ の $386\ \text{nm}$ ）を持つ4倍波が発生する。発生した4倍波は更に集光レンズ506を介して3段目の非線形光学結晶504に進み、ここで再び2次高調波発生によって、入射波の周波数 $4\omega$ の2倍、即ち基本波に対し8倍の周波数 $8\omega$ を有する8倍波（波長は $1/8$ の $193\ \text{nm}$ ）が発生する。この8倍波は紫外のレーザ光LB5として射出される。即ち、この構成例では、基本波（波長 $1.544\ \mu\text{m}$ ）→2倍波（波長 $772\ \text{nm}$ ）→4倍波（波長 $386\ \text{nm}$ ）→8倍波（波長 $193\ \text{nm}$ ）の順に波長変換が行われる。

前記波長変換に使用する非線形光学結晶としては、基本波から2倍波  
への変換を行う非線形光学結晶502には例えば $\text{LiB}_3\text{O}_5$  ( $\text{LBO}$ )  
結晶を、2倍波から4倍波への変換を行う非線形光学結晶503には $\text{GdYCOB}$ 、即ち $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ の結晶 ( $0 \leq x \leq 1$ )  
5 を、4倍波から8倍波への変換を行う非線形光学結晶504には $\text{KAB}$ 、  
即ち $\text{K}_2\text{Al}_2\text{B}_4\text{O}_7$ の結晶を使用する。

この際に、本例の $\text{GdYCOB}$ の結晶は、組成を決定するパラメータ  
 $x$ の値を調整して、2倍波から4倍波の発生を非臨界位相整合 (Non-Cr  
itical Phase Matching:  $\text{NCPM}$ ) で行えるような複屈折率を持つ結晶  
10 としてある。 $\text{NCPM}$ は、非線形光学結晶内での基本波 (2倍波) と高  
調波 (4倍波) との間の角度ずれである「Walk-off」が起こらないため、  
高効率で4倍波への変換を可能にし、また発生した4倍波はWalk-offに  
よるビームの変形も受けないため有利である。更に、4倍波から8倍波  
の発生を行う部分に $\text{KAB}$ の結晶が使用されているため、高い変換効率  
15 が得られる。

更に、本例では、非線形光学結晶502、503、504の全てにそ  
れぞれ温度制御装置521、522、523が装着されている。温度制  
御装置521～523は、それぞれ加熱素子 (ヒータ等)、吸熱素子  
(ペルティエ素子等)、及び測温素子 (サーミスタ等) を備え、不図示  
20 の制御部からの制御情報に基づいて非線形光学結晶502、503、5  
04の温度をそれぞれ目標温度に維持している。この温度制御によって、  
波長変換のための位相整合角の最終的な微調整が上記の $\text{NCPM}$  (非臨  
界位相整合) で行われる。このように波長変換部20中の全部の非線形  
光学結晶502～504について温度制御で位相整合角の微調整を行う  
25 ことによって、各段で「Walk-off」がより高度に抑制されて、変換効率  
が高く維持される。

なお、変換効率が多少低下しても差し支えない場合には、2段目の非線形光学結晶503をLBO結晶より構成するか、又は3段目の非線形光学結晶504をSBBO ( $\text{Sr}_2\text{Be}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ) 結晶より構成してもよい。

5      なお、図3(a)において、光ファイバー・バンドル19と非線形光学結晶502との間に、レーザ光LB6の入射効率を高めるために集光レンズを設けることが望ましい。この際に、光ファイバー・バンドル19を構成する各光ファイバーのモード径(コア径)は例えば20 $\mu\text{m}$ 程度であり、非線形光学結晶中で変換効率の高い領域の大きさは例えば2  
10    00 $\mu\text{m}$ 程度であるため、各光ファイバー毎に10倍程度の倍率の微小レンズを設けて、各光ファイバーから射出されるレーザ光を非線形光学結晶502中に集光するようにしてもよい。これは以下の構成例でも同様である。

次に、図3(b)は2次高調波発生と和周波発生とを組み合わせることで8  
15    倍波を得ることができる波長変換部20Aを示し、この図3(b)において、光ファイバー・バンドル19の出力端19aから射出された波長1.544 $\mu\text{m}$ のレーザ光LB6(基本波)は、LBO結晶よりなる1段目の非線形光学結晶507に入射し、ここでの2次高調波発生により2倍波が発生する。更に、非線形光学結晶507中を基本波の一部が  
20    そのまま透過する。この基本波及び2倍波は、共に直線偏光状態で波長板(例えば1/2波長板)508を透過して、基本波のみが偏光方向が90度回転した状態で射出される。この基本波と2倍波とはそれぞれ集光レンズ509を通過してLBO結晶よりなる2段目の非線形光学結晶510に入射する。

25    非線形光学結晶510では、非線形光学結晶507で発生した2倍波と、変換されずに透過した基本波とから和周波発生により3倍波を得る。

非線形光学結晶 5 1 0 で得られた 3 倍波と、波長変換されずに透過した 2 倍波とは、ダイクロイック・ミラー 5 1 1 により分離されて、ダイクロイック・ミラー 5 1 1 で反射された 3 倍波は、ミラー M 1 で反射され集光レンズ 5 1 3 を通って 3 段目の G d Y C O B 結晶よりなる非線形光学結晶 5 1 4 に入射する。ここで 3 倍波が 2 次高調波発生により 6 倍波（波長 2 5 7 n m）に変換される。非線形光学結晶 5 1 4 も 6 倍波の発生を非臨界位相整合（N C P M）で行うように、組成を定めるパラメータ x の値が調整されており、「Walk-off」が殆ど発生しなくなっている。

一方、ダイクロイック・ミラー 5 1 1 を透過した 2 倍波は集光レンズ 5 1 2 及びミラー M 2 を経てダイクロイック・ミラー 5 1 6 に入射し、非線形光学結晶 5 1 4 で得られた 6 倍波も集光レンズ 5 1 5 を経てダイクロイック・ミラー 5 1 6 に入射し、ここでその 2 倍波と 6 倍波とは同軸に合成されて 4 段目の  $\beta$ -B a B<sub>2</sub> O<sub>4</sub>（B B O）結晶よりなる非線形光学結晶 5 1 7 に入射する。非線形光学結晶 5 1 7 では、6 倍波と 2 倍波とから和周波発生により 8 倍波（波長 1 9 3 n m）を得る。この 8 倍波は紫外のレーザ光 L B 5 として射出される。なお、4 段目の非線形光学結晶 5 1 7 として、B B O 結晶の代わりに C s L i B<sub>6</sub> O<sub>10</sub>（C L B O）結晶を用いることも可能である。また、変換効率が或る程度低下しても差し支えない場合には、非線形光学結晶 5 1 4 として、B B O 結晶を使用してもよい。この波長変換部 2 0 A では、基本波（波長 1 . 5 4 4  $\mu$  m）→ 2 倍波（波長 7 7 2 n m）→ 3 倍波（波長 5 1 5 n m）→ 6 倍波（波長 2 5 7 n m）→ 8 倍波（波長 1 9 3 n m）の順に波長変換が行われている。

また、本例でも全部の非線形光学結晶 5 0 7 , 5 1 0 , 5 1 4 , 5 1 7 にそれぞれ温度を個別の目標温度に維持するための温度制御装置 5 3 1 ~ 5 3 4 が装着され、温度制御によって位相整合角の微調整が行われ

ている。この際に、例えば非線形光学結晶 5 0 7 と 5 1 0 とでは設定温度が異なっている。

このように 6 倍波と 2 倍波との一方が分岐光路を通して 4 段目の非線形光学結晶 5 1 7 に入射する構成では、6 倍波と 2 倍波とをそれぞれ 4  
5 段目の非線形光学結晶 5 1 7 に集光して入射させる集光レンズ 5 1 5, 5 1 2 を互いに異なる光路に配置することができる。この場合、3 段目の非線形光学結晶 5 1 4 で仮に僅かに「Walk-off」が発生し、出力される 6 倍波の断面形状が長円形になっていても、本例のように、集光レンズ 5 1 5, 5 1 2 を別々の光路に配置することにより、例えば集光レン  
10 ズ 5 1 5 としてシリンドリカルレンズ対を用いること等が可能となり、6 倍波のビーム整形を容易に行うことができる。従って、4 段目の非線形光学結晶 5 1 7 での 2 倍波との重なり部を増加させて、変換効率を高めることが可能である。

なお、2 段目の非線形光学結晶 5 1 0 と 4 段目の非線形光学結晶 5 1  
15 7 との間の構成は図 3 (b) に限られるものではなく、4 段目の非線形光学結晶 5 1 7 に 6 倍波と 2 倍波とが同時に入射するように、6 倍波と 2 倍波とでその光路長が等しくなっていれば、いかなる構成であってもよい。更に、例えば 2 段目の非線形光学結晶 5 1 0 と同一光軸上に 3 段目及び 4 段目の非線形光学結晶 5 1 4, 5 1 7 を配置し、3 段目の非線  
20 形光学結晶 5 1 4 で 3 倍波のみを 2 次高調波発生により 6 倍波に変換して、波長変換されない 2 倍波と共に 4 段目の非線形光学結晶 5 1 7 に入射させてもよく、これによりダイクロイック・ミラー 5 1 1, 5 1 6 を用いる必要がなくなる。

次に、図 4 は 2 次高調波発生と和周波発生とを組み合わせる 8 倍波を得ることが  
25 できる別の波長変換部 2 0 B を示し、この図 4 において、光ファイバー・バンドル 1 9 の出力端 1 9 a から射出された波長 1. 5 4



4  $\mu$ mのレーザ光LB6（基本波）は、1段目の非線形光学結晶（LB  
O結晶）601に入射し、ここでの2次高調波発生により2倍波が発生  
すると共に、この中を基本波の一部がそのまま透過する。この場合、不  
図示の集光レンズによって出力端19aの像（多数の細い光束の像）が  
5 非線形光学結晶601の中央部付近に形成されており、その多数の細い  
光束の像が順次後続の非線形光学結晶中にリレーされている。その基本  
波及び2倍波は、共に直線偏光状態で波長板（例えば1/2波長板）6  
02を透過して、基本波のみが偏光方向が90度回転した状態で射出さ  
れる。この基本波と2倍波とはそれぞれ集光レンズ603を通過して2段  
10 目の非線形光学結晶（LB O結晶）604に入射する。

非線形光学結晶604では、入射する2倍波と基本波とから和周波発  
生により3倍波を得ると共に、基本波の一部及び2倍波の一部はそのま  
ま透過する。非線形光学結晶604で得られた3倍波と、波長変換され  
ずに透過した基本波及び2倍波とは、ダイクロイック・ミラー605に  
15 より分離されて、ダイクロイック・ミラー605で反射された3倍波は、  
2枚のシリンドリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ610及び  
ミラー611を経て出力端19aの像（多数の光束の像）を形成する。  
この像の形成面の近傍に各光束の像を直交する2方向で異なる倍率に変  
換するためのシリンドリカルレンズ・アレイ612が配置されている。  
20 シリンドリカルレンズ・アレイ612を通過した3倍波は、等方的な集  
光レンズ613を経てダイクロイック・ミラー614に入射する。

一方、ダイクロイック・ミラー605を透過した基本波及び2倍波は  
集光レンズ606を経て第3の非線形光学結晶（LB O結晶）607に  
入射し、ここで2倍波は2次高調波発生によって4倍波に変換され、4  
25 倍波及びそのまま透過した基本波はダイクロイック・ミラー608で分  
離される。即ち、ダイクロイック・ミラー608で反射された4倍波は、

2枚のシリンドリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ609を経てダイクロイック・ミラー614に入射し、ダイクロイック・ミラー614で同軸に合成された3倍波及び4倍波は4段目の $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  (BB $\bigcirc$ ) 結晶よりなる非線形光学結晶615に入射して、和周波発生により7倍波を得る。この7倍波は集光レンズ616を経てダイクロイック・ミラー617に入射する。

また、ダイクロイック・ミラー608を透過した基本波は、2枚のシリンドリカルレンズよりなる非等方的な集光レンズ618を経て出力端19aの像（多数の光束の像）を形成する。この像の形成面の近傍に各光束の像を直交する2方向で異なる倍率に変換するためのシリンドリカルレンズ・アレイ619が配置されている。シリンドリカルレンズ・アレイ619を通過した基本波は、ミラー620及び等方的な集光レンズ621を経てダイクロイック・ミラー617に入射する。そして、ダイクロイック・ミラー617で同軸に合成された7倍波及び基本波は、LB4、即ち $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （四ほう酸リチウム）の結晶よりなる第5の非線形光学結晶622に入射して、ここでの和周波発生によって8倍波（波長193nm）が得られ、この8倍波が紫外光のレーザ光LB5として射出される。なお、5段目の非線形光学結晶622として、LB4結晶の代わりにKAB、即ち $\text{K}_2\text{Al}_2\text{B}_4\text{O}_7$ の結晶を使用することもできる。この波長変換部20Bでは、基本波（波長1.544 $\mu\text{m}$ ）→2倍波（波長772nm）→3倍波（波長515nm）→4倍波（波長386nm）→7倍波（波長221nm）→8倍波（波長193nm）の順に波長変換が行われている。

本例においては、非線形光学結晶607での2倍高調波発生で発生する4倍波、及び非線形光学結晶615での和周波発生で発生する7倍波はそれぞれ「Walk-off」現象によって断面形状が長円形（非等方的）に

変形する。但し、本例で入射するレーザ光LB6は、多数（本例では128個）の細くそれぞれ所定の開口を有する光束の集合であり、4倍波及び7倍波を構成する多数の光束の断面形状がそれぞれ個別に非等方的に変形する。従って、図4において、非線形光学結晶607から発生する4倍波660、及び非線形光学結晶604から発生した3倍波650の断面形状は、図5に示すように、4倍波660は断面形状が長円形の光束660aの集合であり、3倍波650は断面形状が円形の光束650aの集合である。このため、非線形光学結晶615において単に3倍波650と4倍波660とを重ね合わせて合成波670とすると、この合成波670を構成する各光束670aは重なり部の割合が小さくなって変換効率が低下する。

そこで、本例ではその合成波の重なり部の割合を大きくするために、図4において先ず非等方的な集光レンズ609によって4倍波660を、図6に示すように長手方向に短縮して、個々の光束661aの断面形状がほぼ円形の4倍波661に変換する。なお、4倍波660は非線形光学結晶607中で結像された状態を示し、4倍波661は非線形光学結晶615中で結像された状態を示している。これと並行して、図4において非等方的な集光レンズ610によって3倍波650を、4倍波660と同じ方向に短縮して全体の断面形状を合わせる。この結果、得られる3倍波651は、図6に示すように、全体の断面形状は4倍波661と同じであるが、個々の光束651aの形状は長円形となってしまう、光束661aとの重なり部の割合が小さくなる。なお、3倍波650は非線形光学結晶604中で結像された状態を示し、3倍波651は非等方的な集光レンズ610によって結像された状態を示している。

その重なり部の割合を大きくするために、図4において、3倍波651の結像面の近傍でシリンドリカルレンズ・アレイ612によって個々

の光束の断面形状をほぼ円形に変換している。この結果得られる3倍波652は、図6に示すように、全体の断面形状が4倍波661に合致すると共に、個々の光束652aの断面形状も4倍波661の光束661aに合致する。また、集光レンズ613は等方的であるため、3倍波652は入射時と同じ縦横比で非線形光学結晶615にリレーされる。この結果、非線形光学結晶615では最大の変換効率で7倍波が発生する。

更に、非線形光学結晶615から発生する7倍波を構成する多数の光束の断面形状も長円形となる。そこで、最終段の非線形光学結晶622において、7倍波と基本波との全体の断面形状、及び個々の光束の断面形状を合わせるために、非線形光学結晶607を透過する基本波を一度非等方的な集光レンズ618で結像した後、各光束の像をシリンドリカルレンズ・アレイ619によって変形させている。これによって、非線形光学結晶622からは8倍波が最大の変換効率で発生する。

また、図4の例では、シリンドリカルレンズ・アレイ612及び619はそれぞれ3倍波（波長515nm）及び基本波（波長1.544 $\mu$ m）の光路上に配置されている。これらのほぼ可視光及び赤外光を透過する光学材料は種類が多いため、そのシリンドリカルレンズ・アレイ612及び619の製造が容易になっている。

なお、上記の実施の形態では、交差する2方向で倍率の異なる非等方的光学系としてシリンドリカルレンズ・アレイ612、619が使用されているが、その代わりに入射するレーザー光を構成する多数の光束と同じ個数の非等方的なレンズエレメントよりなるマイクロ・レンズ・アレイ、又はそれと同じ個数の微小な回折格子の集合体である回折光学素子、即ちDOE（Diffractive Optical Element）を使用してもよい。

また、図3（a）及び（b）の波長変換部20、20A、図4の波長変換部20Bについてそれぞれ各チャネル当たりの8倍波（波長193

nm) の平均出力を見積もってみた所、入射するレーザ光の各チャネル当たりのピーク・パワーを20 kW、パルス幅を1 ns、パルス繰り返し周波数を100 kHz、平均出力を2 Wとすると、全128チャネルの合計では何れの波長変換部20, 20 A, 20 Bであっても露光装置  
5 用光源として十分な出力の、波長193 nmの紫外光を提供できる。

なお、波長変換部20, 20 A, 20 Bと同様の構成によって、基本波(波長1.544  $\mu$ m)  $\rightarrow$  2倍波(波長772 nm)  $\rightarrow$  4倍波(波長386 nm)  $\rightarrow$  6倍波(波長257 nm)  $\rightarrow$  8倍波(波長193 nm)の順に波長変換することも可能である。更に、基本波(波長1.544  
10  $\mu$ m)  $\rightarrow$  2倍波(波長772 nm)  $\rightarrow$  3倍波(波長515 nm)  $\rightarrow$  4倍波(波長386 nm)  $\rightarrow$  6倍波(波長257 nm)  $\rightarrow$  7倍波(波長221 nm)  $\rightarrow$  8倍波(波長193 nm)の順に波長変換することによっても8倍波を得ることができる。これらの中から変換効率が高く、構成が簡素化できるものを使用することが望ましい。

次に、F<sub>2</sub> レーザ(波長157 nm) とほぼ同一の波長の紫外光を得るためには、図1(a)の単一波長発振レーザ11において発生する基本波の波長を1.57  $\mu$ mとして、波長変換部20として10倍波の発生を行う波長変換部を使用すればよい。そのためには、例えば基本波  
15 (波長1.57  $\mu$ m)  $\rightarrow$  2倍波(波長785 nm)  $\rightarrow$  4倍波(波長392.5 nm)  $\rightarrow$  8倍波(波長196.25 nm)  $\rightarrow$  10倍波(波長157 nm)の順に波長変換を行えばよい。

また、F<sub>2</sub> レーザ(波長157 nm) とほぼ同一波長の紫外光を得るためには、図1(a)の単一波長発振レーザ11において発生する基本波の波長を1.099  $\mu$ mとして、波長変換部20として7倍波の発生  
20 を行う波長変換部を使用する方法も考えられる。この場合には例えば基本波(波長1.099  $\mu$ m)  $\rightarrow$  2倍波(波長549.5 nm)  $\rightarrow$  3倍波

(波長 3 6 6 . 3 n m) → 4 倍波 (波長 2 7 4 . 8 n m) → 7 倍波 (波長 1 5 7 n m) の順に波長変換を行えばよい。これらの場合にも、必要に応じて図 3 及び図 4 の実施の形態と同様の構成を採用することによって高い変換効率を得ることができる。

5       次に、図 8 は、波長変換部 2 0 の別の構成例を示し、この図 8 において、波長 1 . 5 4 4  $\mu$  m のレーザ光 L B 6 (基本波) は、レンズ 7 0 1 を介して非線形光学結晶 (L B O) 7 0 2 に入射し、ここで 2 倍波が発生し、基本波の一部も透過する。この基本波及び 2 倍波は、ダイクロイックミラー 7 0 3 で分離されて、基本波はミラー 7 0 6 及びレンズ 7 0 7 を経てダイクロイックミラー 7 0 8 に入射し、2 倍波はレンズ 7 0 4 及びミラー 7 0 5 を経てダイクロイックミラー 7 0 8 に入射し、ダイクロイックミラー 7 0 8 で合成された光は非線形光学結晶 (L B O) 7 0 9 中で 3 倍波を発生し、ここを基本波、2 倍波、3 倍波が通過する。

15       基本波は、ダイクロイックミラー 7 1 0 , 7 1 1 及びミラー 7 1 2 , レンズ 7 2 0 を経てダイクロイックミラー 7 2 1 に向かい、2 倍波は、レンズ 7 1 6 を経て非線形光学結晶 (L B O、C L B O、B B O、又は L B 4 等からなる) 7 1 7 で 4 倍波に変換された後、レンズ 7 1 8、ダイクロイックミラー 7 1 5 を経て非線形光学結晶 (B B O) 7 1 9 に入射する。また、3 倍波は、レンズ 7 1 3、ミラー 7 1 4、ダイクロイックミラー 7 1 5 を経て非線形光学結晶 7 1 9 に入射し、ここで 3 倍波と 4 倍波との和周波発生で 7 倍波が発生する。この 7 倍波は、レンズ 7 2 2 を介してダイクロイックミラー 7 2 1 に向かい、ダイクロイックミラー 7 2 1 で合成された基本波及び 7 倍波が非線形光学結晶 (L B O、B B O、C L B O、K A B 等) 7 2 3 で 8 倍波 (波長 1 9 3 n m) に変換される。この 8 倍波は紫外のレーザ光 L B 5 として射出される。この波長変換部では、基本波 (波長 1 . 5 4 4  $\mu$  m) → 2 倍波 → 3 倍波 → 4 倍

20

25

波→7倍波→8倍波（波長193nm）の順に波長変換が行われている。

本例では、各レンズ701, 704, 707, 713等はそれぞれ1波長の光のみを通過させているため、レンズの色収差が発生しない。従って、変換効率を高めることができる。

5 次に、図9（a）は、波長変換部20の更に別の構成例を示し、この図9（a）において、波長1.544 $\mu$ mのレーザー光LB6（基本波）は、レンズ801を介して非線形光学結晶（LBO）802に入射し、ここで2倍波が発生し、基本波の一部も透過する。この基本波及び2倍波は、ダイクロイックミラー803で分離されて、基本波はミラー806及びレンズ807を経てダイクロイックミラー808に入射し、2倍波はレンズ804及びミラー805を経てダイクロイックミラー808に入射し、ダイクロイックミラー808で合成された光は非線形光学結晶（LBO）809中で3倍波が発生し、ここを基本波、2倍波、3倍波が通過する。

15 基本波は、ダイクロイックミラー810, 813及びミラー814、レンズ815を経てダイクロイックミラー816に向かい、2倍波は、ダイクロイックミラー810、レンズ811、ミラー812、ダイクロイックミラー818を経て非線形光学結晶（LBO、CLBO、BBO、又はLB4からなる）819に入射し、3倍波はダイクロイックミラー810, 813、レンズ817、ダイクロイックミラー818を経て非線形光学結晶819に入射し、ここで5倍波が発生し、2倍波の一部はそのまま透過する。そして、2倍波は、ダイクロイックミラー820、レンズ821、ミラー822、ダイクロイックミラー825を経て非線形光学結晶（CLBO又はBBOよりなる）826に入射し、5倍波は  
20 ダイクロイックミラー820、ミラー823、レンズ824、及びダイクロイックミラー825を経て非線形光学結晶826に入射し、ここで

2倍波と5倍波との和周波発生で7倍波が発生する。この7倍波は、ミラー827、レンズ828を介してダイクロイックミラー816に向かい、ダイクロイックミラー816で合成された基本波及び7倍波が非線形光学結晶（LBO、CLBO、KAB等）829で8倍波（波長193nm）に変換される。この8倍波は紫外のレーザ光LB5として射出される。この波長変換部では、基本波（波長1.544 $\mu$ m）→2倍波→3倍波→5倍波→7倍波→8倍波（波長193nm）の順に波長変換が行われている。

この結果、7倍波の発生を3倍波と4倍波との和周波発生で行う必要が無い場合、7倍波（波長221nm）で吸収のあるBBOを使用する必要がなくなり、耐久性が向上し、かつ位相整合許容誤差が大きくなる。なお、6倍波（258nm）及び5倍波（309nm）では、BBOの吸収は7倍波に比べて十分小さいため、BBOを使用しても耐久性に優れている。また、6倍波よりも5倍波の方がBBOの吸収が少ないため、5倍波発生でBBOを使用することが望ましい。更に、BBOを使用することなく8倍波（193nm）の発生が可能である。

また、図9（a）の例でも、各レンズ801、804、807、817等はそれぞれ1波長の光のみを通過させているため、レンズの色収差が発生しない。従って、変換効率を高めることができる。

また、図9（b）の構成例は、基本波（波長1.544 $\mu$ m）→2倍波→3倍波→6倍波→7倍波→8倍波（波長193nm）の順に波長変換が行われており、2倍波発生（ $\omega + \omega \rightarrow 2\omega$ ）の非線形光学結晶832はLBO、3倍波発生（ $\omega + 2\omega \rightarrow 3\omega$ ）の非線形光学結晶839はLBO、6倍波発生（ $3\omega + 3\omega \rightarrow 6\omega$ ）の非線形光学結晶841はBBO、LB4、又はCLBOであり、7倍波発生（ $\omega + 6\omega \rightarrow 7\omega$ ）の非線形光学結晶847はLBO、LB4（BBOも可能）であり、8倍



波発生 ( $\omega + 7\omega \rightarrow 8\omega$ ) の非線形光学結晶 854 は LBO, CLBO, KAB 等) である。また、レンズ 831, 836, 837, 842, 845, 852, 850 と、ミラー 834, 835, 843, 844, 851, 849 と、ダイクロイックミラー 833, 838, 840, 846, 848, 853 とが配置されている。

同様に、図 10 (a) の構成例は、基本波 (波長  $1.544 \mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  2 倍波  $\rightarrow$  4 倍波  $\rightarrow$  5 倍波  $\rightarrow$  7 倍波  $\rightarrow$  8 倍波 (波長  $193 \text{ nm}$ ) の順に波長変換が行われており、2 倍波発生 ( $\omega + \omega \rightarrow 2\omega$ ) の非線形光学結晶 902 は LBO、4 倍波発生 ( $2\omega + 2\omega \rightarrow 4\omega$ ) の非線形光学結晶 906 は LBO 又は YCOB、5 倍波発生 ( $\omega + 4\omega \rightarrow 5\omega$ ) の非線形光学結晶 912 は LBO、CLBO、BBO、又は LB4 であり、7 倍波発生 ( $2\omega + 5\omega \rightarrow 7\omega$ ) の非線形光学結晶 921 は CLBO (BBO も可能) であり、8 倍波発生 ( $\omega + 7\omega \rightarrow 8\omega$ ) の非線形光学結晶 854 は LBO, CLBO, KAB 等) である。また、レンズ 901, 905, 907, 910, 913, 915, 923, 918 と、ミラー 904, 909, 917 と、ダイクロイックミラー 903, 908, 911, 914, 916, 919 とが配置されている。

同様に、図 10 (b) の構成例は、基本波 (波長  $1.544 \mu\text{m}$ )  $\rightarrow$  2 倍波  $\rightarrow$  4 倍波  $\rightarrow$  6 倍波  $\rightarrow$  7 倍波  $\rightarrow$  8 倍波 (波長  $193 \text{ nm}$ ) の順に波長変換が行われており、2 倍波発生 ( $\omega + \omega \rightarrow 2\omega$ ) の非線形光学結晶 932 は LBO、4 倍波発生 ( $2\omega + 2\omega \rightarrow 4\omega$ ) の非線形光学結晶 935 は LBO 又は YCOB、6 倍波発生 ( $2\omega + 4\omega \rightarrow 6\omega$ ) の非線形光学結晶 942 は CLBO、BBO、又は LB4 であり、7 倍波発生 ( $\omega + 6\omega \rightarrow 7\omega$ ) の非線形光学結晶 947 は CBO、LB4 (BBO も可能) であり、8 倍波発生 ( $\omega + 7\omega \rightarrow 8\omega$ ) の非線形光学結晶 954 は LBO, CLBO, KAB 等) である。また、レンズ 931, 93

4, 938, 940, 943, 946, 952, 949と、ミラー945, 937, 939, 951, 950と、ダイクロイックミラー936, 941, 944, 948, 950とが配置されている。

5 また、図9及び図10の構成例は、何れもレンズの色収差が発生しない。また、7倍波の発生が3倍波と4倍波とを使わずに行われている。

10 なお、上記の実施の形態では、図1(a)より分かるようにm組のn個の光増幅ユニット18-1~18-nの出力の合成光を一つの波長変換部20~20Bで波長変換している。しかしながら、その代わりに、例えばm'個(m'は2以上の整数)の波長変換部を用意し、m組の光増幅ユニット18-1~18-nの出力をn'個ずつm'個のグループに分けて、各グループ毎に1つの波長変換部で波長変換を行い、得られたm'個(本例では例えばm'=4又は5等)の紫外光を合成するようにしてもよい。即ち、波長変換部20は上記構成に限られるものではなく任意でよいし、非線形光学結晶として上記以外、例えばCBO結晶  
15 (CsB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>)などを用いてもよい。

上記の実施の形態の紫外光発生装置によれば、図1(a)の光ファイバー・バンドル19の出力端の直径が全チャンネルを合わせても2mm程度以下であるため、1個、又は数個の波長変換部20ですべてのチャンネルの波長変換を行うことが可能である。しかも、出力端が柔軟な光ファイバーを使用しているため、波長変換部、単一波長発振レーザ、及びスプリッタ等の構成部を分けて配置することが可能となるなど、配置の自由度が極めて高い。従って、本例の紫外光発生装置によれば、安価でコンパクト、かつ単一波長でありながら空間的コヒーレンスの低い紫外レーザ装置が提供できる。

25 次に、図1(a)の紫外光発生装置を用いた露光装置の一例につき説明する。

図 7 は、本例の露光装置を示し、この図 7 において、露光光源 1 7 1 としては、図 1 (a) の紫外光発生装置中の単一波長発振レーザ 1 1 から m 組の光増幅ユニット 1 8 - 1 ~ 1 8 - n までの部分が使用される。また、その紫外光発生装置は、最終的に出力されるレーザ光 L B 5 の波長が 1 9 3 nm、1 5 7 nm、又はそれ以外の紫外域にできるように調整されている。

図 7 の露光光源 1 7 1 から射出されたレーザ光（基本波）の大部分は、接続用光ファイバー 1 7 3、及び波長変換部 1 7 2 を介して露光光として照明系 1 6 2 に供給され、そのレーザ光の残りの部分は接続用光ファイバー 1 7 8 を介してアライメント系（詳細後述）に供給される。光ファイバー 1 7 3 及び 1 7 8 はそれぞれ図 1 (a) の光ファイバー・バンドル 1 9 を分岐したものに対応している。

波長変換部 1 7 2 は、露光光源 1 7 1 からの基本波を波長変換してレーザ光 L B 5 よりなる紫外域の露光光を出力する波長変換部（図 1 (a) の波長変換部 2 0 に対応する）であり、照明系 1 6 2 は、その露光光の照度分布を均一化するオプティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）、開口絞り、リレーレンズ、視野絞り（レチクルブラインド）、及びコンデンサレンズ等から構成され、露光時には照明系 1 6 2 から射出された露光光が、マスクとしてのレチクル 1 6 3 のパターン面のスリット状の照明領域を均一な照度分布で照明する。この際に本例の露光光は空間コヒーレンスが低いため、照明系 1 6 2 中の空間コヒーレンスを低下させる部材の構成を簡素化でき、露光装置を更に小型化できる。

レチクル 1 6 3 はレチクルステージ 1 6 4 上に載置されており、レチクル 1 6 3 を透過した露光光は投影光学系 1 6 5 を介して、被露光基板としてのウエハ (wafer) 1 6 6 上に照明領域の内のパターンの縮小像を倍率  $M_{RW}$ （例えば  $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$  等）で投影する。投影光学系

1 6 5としては、屈折系、反射系、又は反射屈折系が使用できる。但し、露光光が波長200nm程度以下の真空紫外光である場合には高透過率の材料が限定されるため、投影光学系を小型化して、かつ結像性能を高めるために反射屈折系を使用してもよい。ウエハ166にはフォトレジ  
5 ストが塗布されており、ウエハ166は、例えば半導体（シリコン等）又はSOI (silicon on insulator)等の円板状の基板である。

ウエハ166は、ウエハステージ167上に保持され、ウエハ166の3次元的な位置は駆動部169によって駆動されるウエハステージ167によって設定される。また、レチクルステージ164は駆動機構1  
10 68によって2次元的な変位、及び回転ができるように駆動される。駆動部169及び駆動機構168は主制御系177によって制御される。そして、露光時には、主制御系177の制御のもとで、ウエハステージ167のステップ移動によってウエハ166の位置決めを行った後、照明領域に対してレチクルステージ164を介してレチクル163を所定  
15 方向に走査し、ウエハ166をウエハステージ167を介して倍率 $M_{RW}$ を速度比として走査するというステップ・アンド・スキャン方式で、ウエハ166上の各ショット領域にレチクル163のパターンの像が転写される。このように本例の露光装置は走査露光型であるが、露光光源171はステッパ等の一括露光型の露光装置にも適用できることは明  
20 らかである。

この場合、本例の露光光源171及び波長変換部172（光源系）は小型であるため、照明系162を支持する架台にその光源系の少なくとも一部（例えば波長変換部172など）を一緒に固定しても良い。あるいは露光光源171を単独で架台に固定しても良い。但し、露光光源1  
25 71に接続される電源などは別置きにしておくことが好ましい。

以上のように、本例の紫外光発生装置を用いた露光装置は従来の他の

方式（エキシマレーザやアレイレーザを用いた露光装置）にくらべて小型であり、また、各要素が光ファイバーで接続されて構成されているため、装置を構成する各ユニットの配置の自由度が高い利点がある。

ところで、前述の走査露光時における露光量制御では、図 1（a）の  
5 光変調素子 12 によって規定されるパルス繰り返し周波数  $f$  と、遅延素子（光ファイバー 15-1 ~ 15-m, 17-1 ~ 17-n）によって規定されるチャネル間の遅延時間との少なくとも一方を調整して、走査露光中に露光光源 171 から複数のパルス光を等時間間隔で発振させるようにしてもよい。更に、フォトリジストの感度特性に応じて、ウエハ  
10 166 上でのパルス光の強度、ウエハ 166 の走査速度、パルス光の発振間隔（周波数）、及びウエハ 166 の走査方向に関するパルス光（即ちその照射領域）の幅の少なくとも 1 つを調整し、ウエハ上の各点が照射領域を横切る間に照射される複数のパルス光の積算光量を適正露光量に制御する。このとき、スループットを考慮して、ウエハ 166 の走査  
15 速度がウエハステージ 167 の最高速度にほぼ維持されるように、他の制御パラメータ、即ちパルス光の強度、発振周波数、及び照射領域の幅の少なくとも 1 つを調整することが好ましい。

また、本例においては、接続用光ファイバー 173, 178 が使用されているため、露光光源 171 を露光装置本体の外部に設けることも可能である。このような構成とすることにより、光ファイバー増幅器の励起用半導体レーザや半導体レーザのドライブ用電源、温度コントローラ等の発熱を伴う主要な構成部分を露光機本体の外に配設することができる。従って、露光装置本体が露光光源である紫外光発生装置からの発熱の影響を受けて光軸のアライメントがずれる等の熱に起因する問題を抑制  
25 することができる。

また、本例のレチクルステージ 164 は駆動機構 168 によって X 方

向、Y方向に移動可能で、かつ微小回転可能に構成されている。更に、  
ウエハステージ167上には基準マーク板FMが設けられており、この  
基準マーク板FMは後述するベースライン計測などに用いられる。更に  
本例では、レチクル163上のアライメントマークを検出するアライメ  
5   ント系180と、投影光学系165を介さないオフ・アクシス方式のア  
ライメント系181とが設けられている。

本例では露光光源171からのレーザ光（基本波）の一部を分岐して  
光ファイバー178を介してアライメント系180用の波長変換部17  
9に供給している。波長変換部179としては、図1（a）の波長変換  
10   部20と同様で、かつ小型の波長変換部を使用する。波長変換部179  
はアライメント系180を保持する架台に一体に設けておき、波長変換  
部179から射出される露光光と同じ波長のレーザ光LB5をアライメ  
ント系180の照明光ALとして使用する。

これにより、アライメント系180の光源を別途用意する必要がなく  
15   なると共に、露光光と同一波長の照明光を用いて基準マーク又はアライ  
メントマークを検出でき、高精度なマーク検出が可能となる。即ち、ア  
ライメント系180は、露光光と同一波長域の照明光ALをレチクル1  
63上のアライメントマーク、及び投影光学系165を通して基準マー  
ク板FM上の基準マークに照射すると共に、両マークから発生する光を  
20   撮像素子（CCD）で受光してその位置ずれを検出するものであり、レ  
チクル163のアライメントやアライメント系181のベースライン計  
測などに用いられる。

オフ・アクシス方式のアライメント系181は、例えば550～75  
0nm程度の波長幅を持つ白色光（ブロードバンド光）をウエハ166  
25   上のアライメントマークに照射すると共に、その内部に設けられる指標  
マークの像とアライメントマークの像とを撮像素子（CCD）上に結像

させて両マークの位置ずれを検出するものである。

この場合、アライメント系 1 8 0, 1 8 1 でそれぞれ基準マーク板 F  
M 上の基準マークを検出することで、その検出結果からアライメント系  
1 8 1 のベースライン量（検出中心と露光中心との間隔）を計測するこ  
とができ、この結果及びアライメント系 1 8 1 の計測結果に基づいてウ  
エハ 1 6 6 上の各ショット領域のアライメントが高精度に行われる。な  
お、ベースライン計測はウエハの露光開始前に行われるが、ウエハを交  
換するたびにベースライン計測を行ってもよいし、あるいは複数枚のウ  
エハの露光動作に 1 回程度の割合でベースライン計測を行うようにして  
もよい。但し、レチクル交換後には必ずベースライン計測が行われる。

なお、前述した実施形態で用いる光ファイバー（光ファイバー増幅器  
などを含む）はその表面を、脱ガスが少ないテフロン、又はフッ素系樹  
脂などで被覆しておくことが好ましい。これは、光ファイバーから発生  
する異物（繊維などを含む）が露光装置を汚染する物質となり得るため、  
そのような汚染物質の発生を防止するためである。但し、テフロンで被  
覆する代わりに、チャンバー内に配置される光ファイバーをまとめてス  
テンレス製の筐体に収納するようにしてもよい。

また、上記の実施の形態の例えば図 7 の露光装置では、レチクル 1 6  
3 上のマークあるいはレチクルステージ 1 6 4 に設けられる基準マーク  
を露光光と同一波長の照明光で照明し、投影光学系 1 6 5 によって形成  
されるマーク像をウエハステージ 1 6 7 に設けられる開口（スリットな  
ど）を介して検出する空間像計測系を設けるようにしてもよい。この場  
合、その空間像計測系用の照明光を発生する光源として前述の光源（1  
7 1, 1 7 9）と同一構成の光源を別途用意してもよいし、露光光源 1  
7 1 ~ 照明系 1 6 2 よりなる露光用光源を兼用してもよい。

また、上記の実施の形態の投影露光装置は、複数のレンズから構成さ

れる照明光学系、及び投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整を  
すると共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステー  
ジを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電  
気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、  
5 露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで  
行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、  
このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料か  
らウエハを制作するステップ、前述した実施の形態の露光装置によりレ  
10 チクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステ  
ップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、  
検査ステップ等を経て製造される。

更に、本発明は液晶表示素子やプラズマディスプレイ素子等の表示素  
子、薄膜磁気ディスク、マイクロマシーン、及びDNAチップ等のデバ  
15 イスを製造する際にも適用することができる。また、投影露光装置用の  
フォトリソマスクを製造する際にも本発明を適用することができる。

なお、本発明の露光装置中のレーザ装置は、例えばウエハ上に形成さ  
れた回路パターンの一部（ヒューズなど）を切断するために用いられる  
レーザリペア装置などにも用いることができる。また、本発明によるレ  
20 ーザ装置は可視光または赤外光を用いる検査装置などにも適用すること  
ができる。そしてこの場合には前述の波長変換部をレーザ装置に組み込  
む必要がない。即ち、本発明は紫外光発生装置だけでなく、可視域また  
は赤外域の基本波を発生する、波長変換部がないレーザ装置に対しても  
有効なものである。

25 更に、本発明によるレーザ装置は、デバイス製造工程で用いられる露  
光装置や検査装置などだけでなく、用途などに関係なく各種装置（一例



としては従来はエキシマレーザを光源としていたもので、例えば角膜の曲率や凹凸を矯正して近眼、乱視などの治療を行うレーザ治療装置などの光源としても用いることができる。

5      なお、本実施の形態の露光装置として、投影光学系を用いることなくマスクと基板とを密接させてマスクのパターンを露光するプロキシミティ露光装置にも適用することができる。

10      なお、本発明は上述の実施の形態に限定されることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む1999年9月10日付け提出の日本国特許出願第11-258133号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

#### 産業上の利用の可能性

15      本発明によれば、光ファイバー増幅器を用いているため、小型化で、かつメンテナンスの容易なレーザ装置を提供することができ、このレーザ装置は露光装置の露光光源や検査用光源等に使用することができる。

20      また、所定の非線形光学結晶を用いるか、「Walk-off」が生じにくくするか、又は「Walk-off」の影響を軽減するための光学部材を用いることによって、波長変換部における変換効率を高めることができ、露光装置に適用した場合にスループットを向上できる。

25      更に、レーザ光発生部から発生するレーザ光を複数に分岐する光分岐部を更に備え、光増幅部をその複数に分岐されたレーザ光のそれぞれに独立に設けることによって、出力されるレーザ光を高周波数で変調でき、空間的コヒーレンスを低減できると共に、全体としての発振スペクトル線幅を簡単な構成で狭くできる。

## 請 求 の 範 囲

1. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

5 赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生する  
レーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増  
幅器を有する光増幅部と、

10 該光増幅部によって増幅されたレーザ光を波長変換する複数の非線形  
光学結晶と、波長変換時の位相整合角の調整を行うために前記複数の非  
線形光学結晶のそれぞれの温度制御を行う複数の温度制御装置とを有す  
る波長変換部とを備え、

前記波長変換部から紫外光を発生することを特徴とするレーザ装置。

2. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

15 赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生する  
レーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増  
幅器を有する光増幅部と、

該光増幅部によって増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を  
用いて紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、

20 前記複数個の非線形光学結晶の少なくとも一つに四ほう酸リチウム  
( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) の結晶を使用することを特徴とするレーザ装置。

3. 前記波長変換部は、前記レーザ光の基本波及び7倍波から和周波発  
生による8倍波を紫外光として発生し、

25 前記8倍波を発生する部分に四ほう酸リチウム( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) の  
結晶が使用されることを特徴とする請求の範囲2に記載のレーザ装置。

4. 前記複数の非線形光学結晶は、前記四ほう酸リチウムの結晶が使用

される非線形光学結晶とは別に  $GdYCOB$  の結晶が使用される非線形光学結晶を含むことを特徴とする請求の範囲 2 に記載のレーザ装置。

5. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部と、

該光増幅部によって増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、

10 前記複数個の非線形光学結晶の少なくとも一つに  $KAB$  ( $K_2Al_2B_4O_7$ ) の結晶を使用することを特徴とするレーザ装置。

6. 前記複数の非線形光学結晶は、前記  $KAB$  の結晶が使用される非線形光学結晶とは別に  $GdYCOB$  ( $Gd_xY_{1-x}Ca_4O(BO_3)_3$ ) の結晶が使用される非線形光学結晶を含むことを特徴とする請求の範囲 5  
15 に記載のレーザ装置。

7. 前記波長変換部は、前記レーザ光の基本波及び 7 倍波から和周波発生による 8 倍波を紫外光として発生し、

前記 8 倍波を発生する部分に  $KAB$  の結晶が使用されることを特徴とする請求の範囲 5 に記載のレーザ装置。

20 8. 前記波長変換部は、前記レーザ光の 4 倍波から二次高調波発生による 8 倍波を紫外光として発生し、

前記 8 倍波を発生する部分に  $KAB$  の結晶が使用されることを特徴とする請求の範囲 5 に記載のレーザ装置。

9. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

25 赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部と、

該光増幅部によって増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、

5 前記複数個の非線形光学結晶の少なくとも一つに  $GdYCOB$  ( $Gd_x Y_{1-x} Ca_4 O (BO_3)_3$ ) の結晶を使用することを特徴とするレーザ装置。

10 前記波長変換部は、前記レーザ光の2倍波から4倍波を発生する部分を備え、

10 前記4倍波を発生する部分に  $GdYCOB$  の結晶が使用され、かつ該  $GdYCOB$  の結晶は4倍波の発生を非臨界位相整合で行うことを特徴とする請求の範囲9に記載のレーザ装置。

11. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

15 赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部と、

20 該光増幅部によって増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換すると共に、前記複数個の非線形光学結晶の間でレーザ光をリレーする複数個のリレー光学系を備えた波長変換部とを備え、

前記複数個のリレー光学系中をそれぞれ1つの波長の光が通過する配置としたことを特徴とするレーザ装置。

25 12. 前記波長変換部は、基本波の7倍波と前記基本波とから8倍波を生成すると共に、

前記7倍波を生成する際に、基本波、2倍波、5倍波、及び6倍波中

の2つの光の和周波発生を用いることを特徴とする請求の範囲11に記載のレーザ装置。

13. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

5 赤外域から可視域までの波長範囲内で単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部と、

該レーザ光発生部から発生されたレーザ光を複数の光束に分岐する光分岐部と、

該光分岐部で分岐された複数の光束のそれぞれを光ファイバー増幅器を用いて増幅する複数の光増幅部と、

10 該複数の光増幅部からの複数の光束を束ねたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、

前記波長変換部は、前記レーザ光の基本波又は高調波よりなる第1ビーム、及び前記レーザ光の高調波よりなる第2ビームの和周波発生によって高調波を発生する非線形光学結晶と、

15 前記第1ビームを構成する複数の光束のそれぞれと、前記第2ビームを構成する複数の光束のそれぞれとの大きさを整合させるために交差する2方向で倍率の異なる非等方的光学系とを有することを特徴とするレーザ装置。

14. 前記非等方的光学系は、前記レーザ光を構成する複数の光束と同じ数のレンズエレメントを有するシリンドリカルレンズのアレイ、又はプリズムのアレイであることを特徴とする請求の範囲13に記載のレーザ装置。

15. 前記紫外光は波長が200nm程度以下であり、前記複数個の非線形光学結晶のうち前記紫外光を発生する最終段の非線形光学結晶に四  
25 ほう酸リチウム又はKABの結晶を使用することを特徴とする請求の範囲11～14の何れか一項に記載のレーザ装置。

16. 前記最終段の非線形光学結晶と異なる少なくとも1つの非線形光学結晶にGdYCOBの結晶を使用することを特徴とする請求の範囲15に記載のレーザ装置。

17. 紫外光を発生するレーザ装置であって、

5 単一波長のレーザ光を発生するレーザ光発生部と、

前記レーザ光を増幅する光ファイバー増幅器を有する光増幅部と、  
前記増幅されたレーザ光を複数個の非線形光学結晶を用いて波長が200nm程度以下の紫外光に波長変換する波長変換部とを備え、

10 前記複数個の非線形光学結晶のうち前記紫外光を発生する最終段の非線形光学結晶に四ほう酸リチウム又はKABの結晶を使用することを特徴とするレーザ装置。

18. 前記最終段の非線形光学結晶と異なる少なくとも1つの非線形光学結晶にGdYCOBの結晶を使用することを特徴とする請求の範囲17に記載のレーザ装置。

15 19. 前記レーザ光発生部から発生するレーザ光を複数に分岐する光分岐部を更に備え、

前記光増幅部は前記複数に分岐されたレーザ光のそれぞれに独立に設けられると共に、

20 前記波長変換部は、前記複数の光増幅部から出力されたレーザ光の束をまとめて波長変換することを特徴とする請求の範囲1～12、17、及び18の何れか一項記載のレーザ装置。

20. 前記レーザ光発生部は、波長が1.5 $\mu$ m付近の単一波長のレーザ光を発生し、

25 前記波長変換部は、前記光増幅部から出力される前記波長1.5 $\mu$ m付近の基本波を、8倍高調波又は10倍高調波の紫外光に変換して出力することを特徴とする請求の範囲1～14、17、及び18の何れか一

項に記載のレーザ装置。

2 1. 前記レーザ光発生部は、波長が1.1  $\mu\text{m}$ 付近の単一波長のレーザ光を発生し、前記波長変換部は、前記光増幅部から出力される前記波長1.1  $\mu\text{m}$ 付近の基本波を、7倍高調波の紫外光に変換して出力することを特徴とする請求の範囲1～14、17、及び18の何れか一項記載のレーザ装置。

2 2. 請求の範囲1～14、17、及び18の何れか一項記載のレーザ装置からの紫外光を使用する露光方法であって、

10 前記紫外光をマスクに照射し、該マスクのパターンを通過した紫外光で基板を露光することを特徴とする露光方法。

2 3. 請求の範囲1～14、17、及び18の何れか一項記載のレーザ装置と、

該レーザ装置からの紫外光をマスクに照射する照明系と、

15 前記マスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系とを有し、前記マスクのパターンを通過した前記紫外光で前記基板を露光することを特徴とする露光装置。

2 4. マスクを紫外光で照明し、前記マスクのパターンを通過した前記紫外光で基板を露光する露光装置の製造方法であって、

20 請求の範囲1～14、17、及び18の何れか一項に記載のレーザ装置と、

該レーザ装置からの紫外光を前記マスクに照射する照明系と、

前記マスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系とを所定の位置関係で配置することを特徴とする露光装置の製造方法。

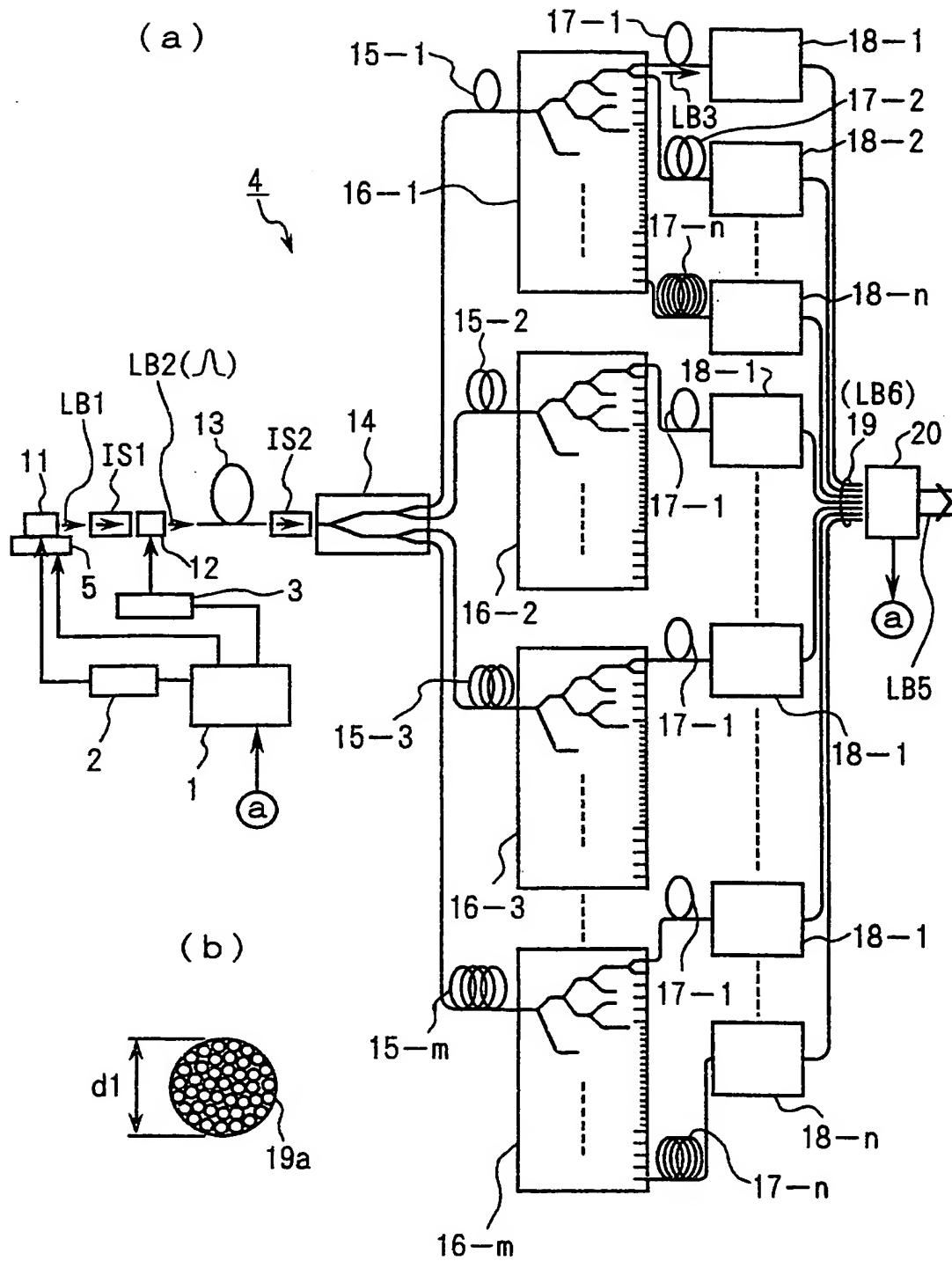
25 2 5. 請求の範囲22に記載の露光方法を用いてマスクのパターンを基板上に転写する工程を含むデバイスの製造方法。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



1/8

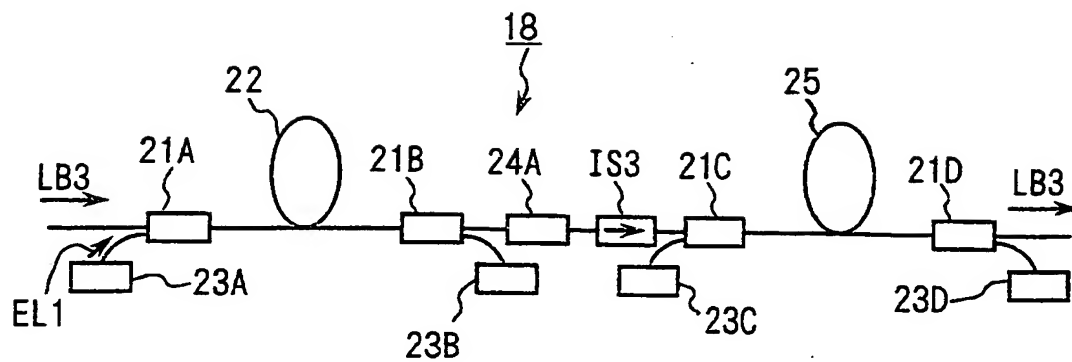
図 1



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2/8

図 2



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 3

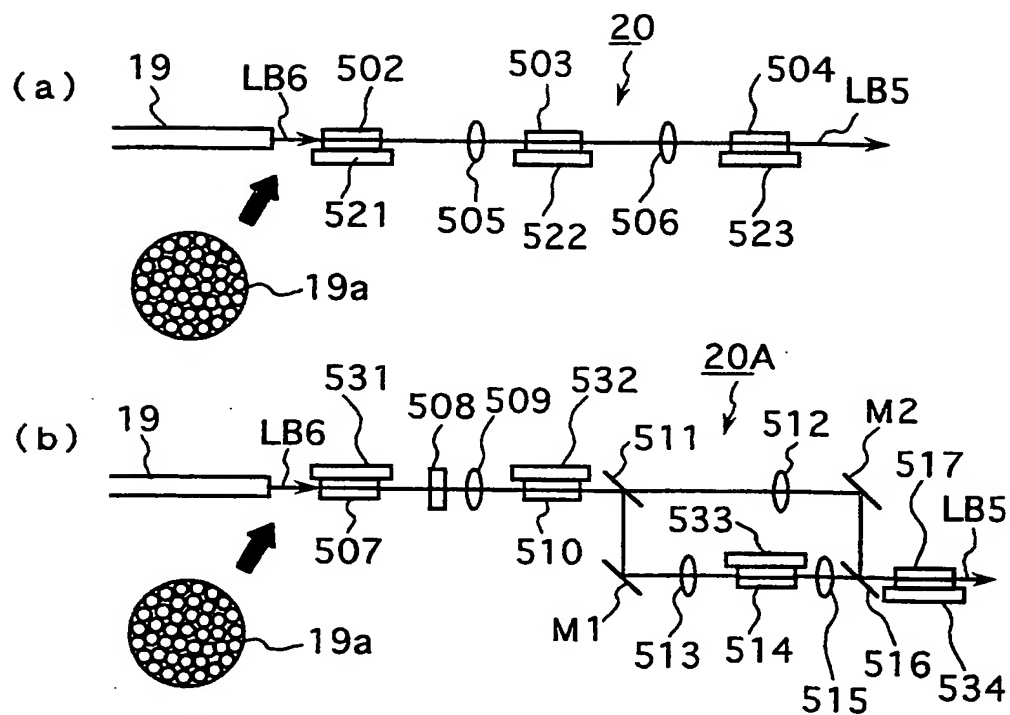
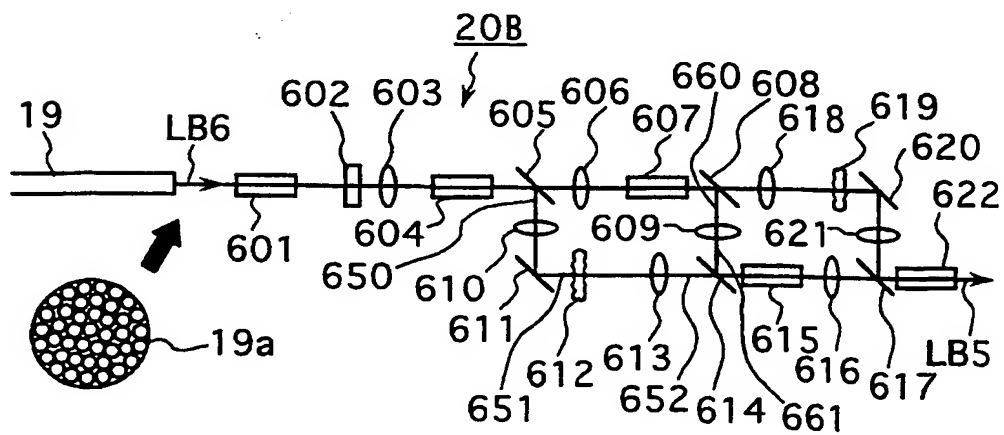


図 4



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 5

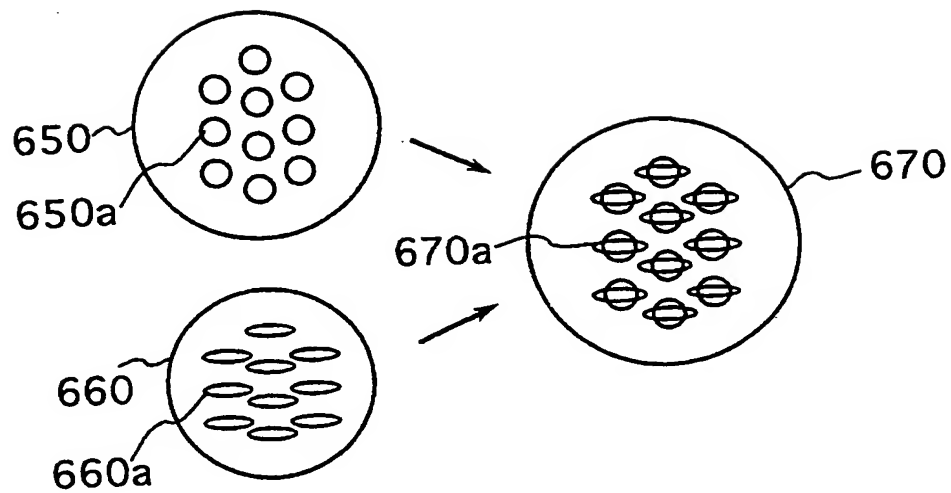
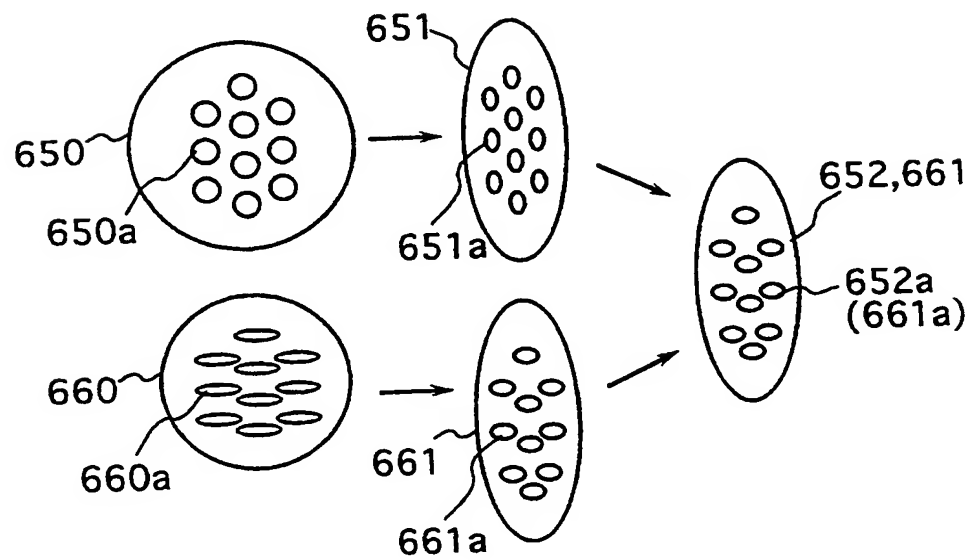


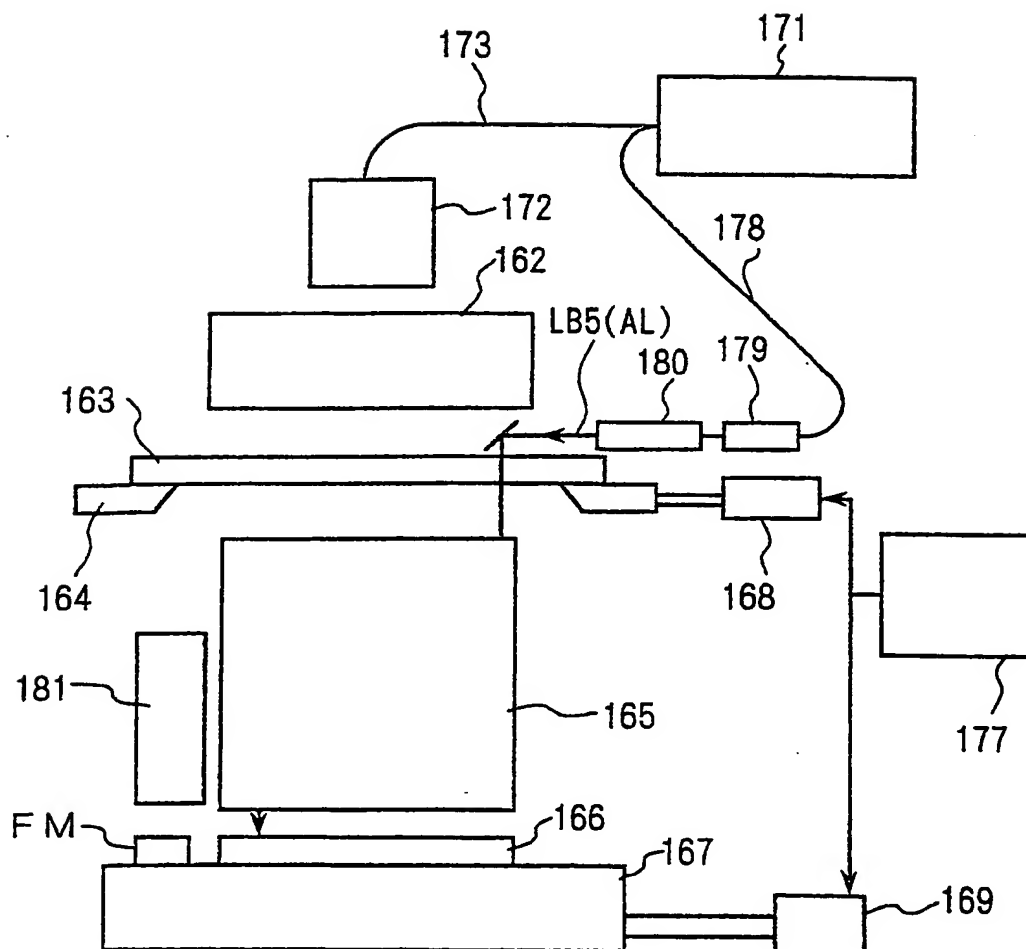
図 6



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

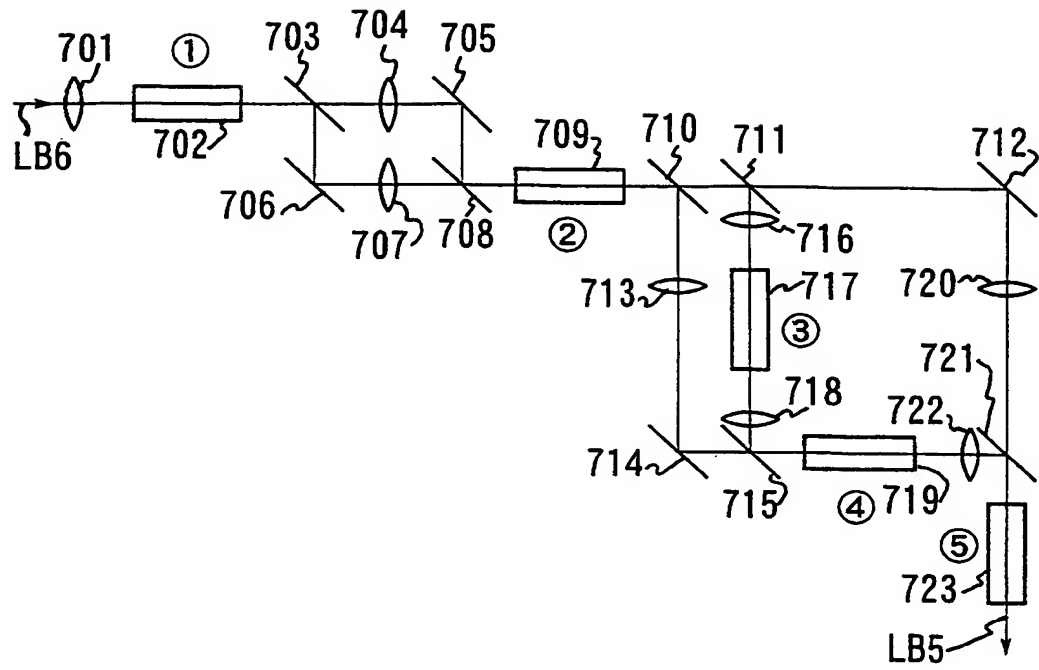


図 7



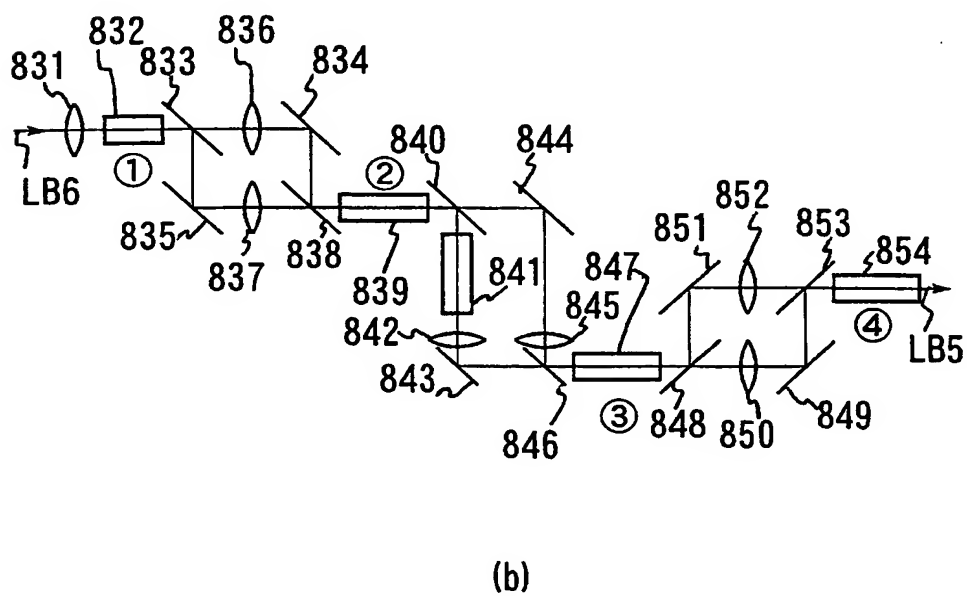
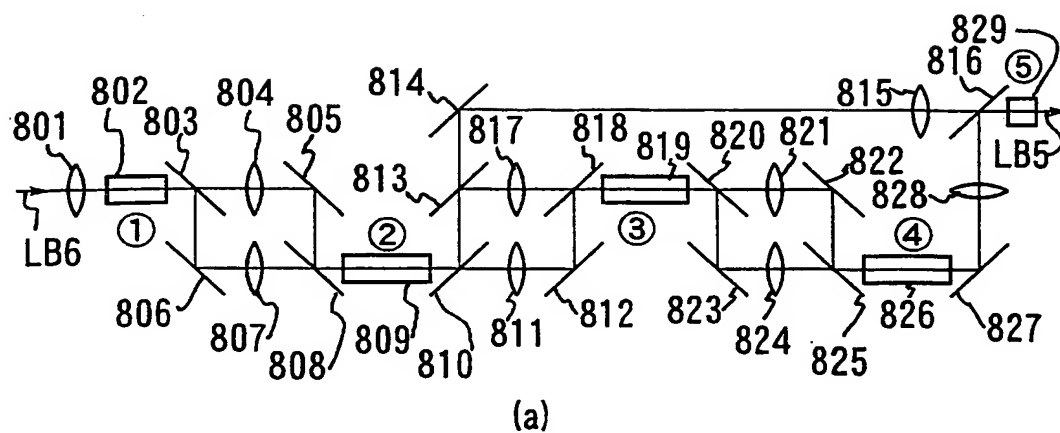
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 8



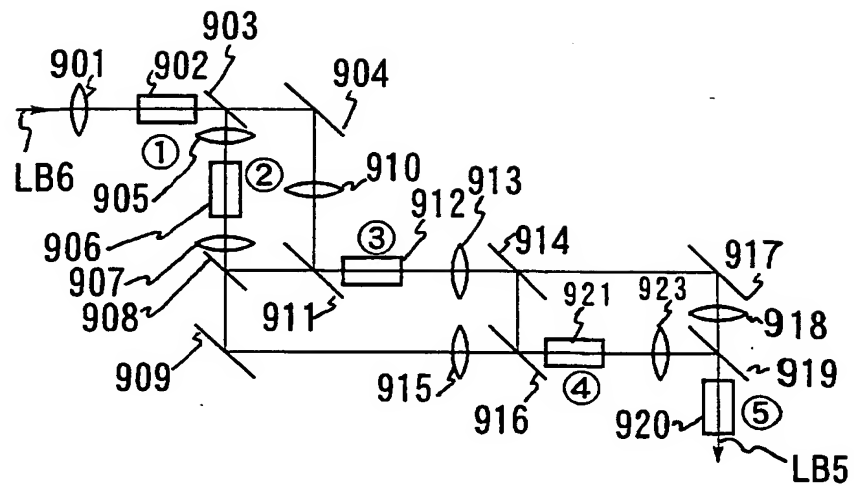
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 9

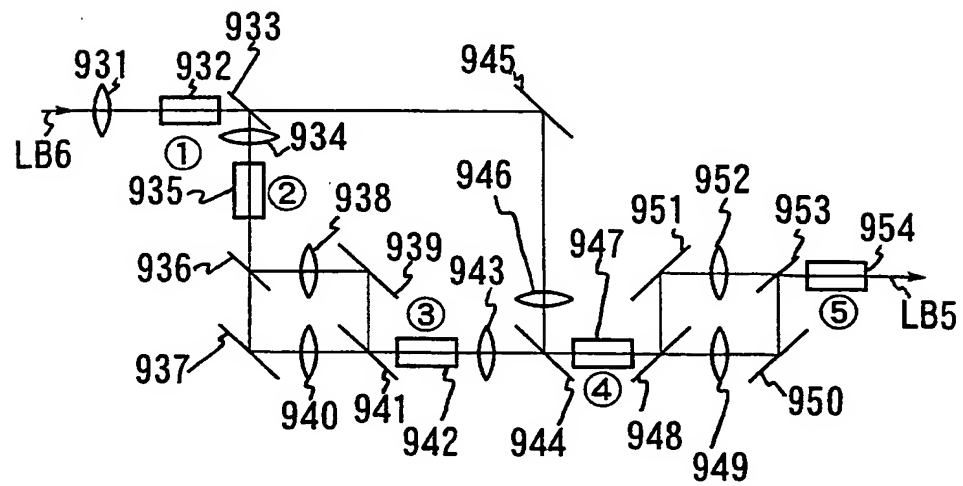


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 10



(a)



(b)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06131

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/37, H01S 3/109

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/37, H01S 3/109

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DIALOG (WPI/L)  
DIALOG (INSPEC)  
JICST (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US, 5838709, A (Nikon Corporation), 17 November, 1998 (17.11.98), Full text & JP, 8-334803, A & JP, 9-148658, A	1, 2, 4-6, 9-11, 13-19, 22-25 3, 7, 8, 12, 20, 21
Y	EP, 919852, A1 (NEC CORPORATION), 02 June, 1999 (02.06.99), page 8, line 33 to page 9, line 23; Fig. 11 & JP, 11-160746, A	1, 22-25
Y A	V. Petrov, et al., "Vacuum ultraviolet application of Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> crystals: Generation of 100fs pulses down to 170nm", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 84, No. 11, 01 December, 1998 (01.12.98) pp. 5887-5892	2, 4, 15, 17, 22-25 3
Y	M. Yoshimura, et al., "Noncritically phase-matched frequency conversion in Cd <sub>x</sub> Y <sub>1-x</sub> Ca <sub>4</sub> O(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> crystal", OPTICS LETTERS, Vol. 24, No. 4, 15 February, 1999 (15.02.99) pp. 193-195	4, 6, 9, 10, 16, 18, 22-25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not  
considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing  
date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is  
cited to establish the publication date of another citation or other  
special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other  
means  
"P" document published prior to the international filing date but later  
than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or  
priority date and not in conflict with the application but cited to  
understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be  
considered novel or cannot be considered to involve an inventive  
step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be  
considered to involve an inventive step when the document is  
combined with one or more other such documents, such  
combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
05 December, 2012 (05.12.12)

Date of mailing of the international search report  
26 December, 2000 (26.12.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06131

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Zhang-Gui Hu, et al., "A New Nonlinear Optical Borate Crystal $K_2Al_2B_2O_7$ (KAB)", <i>Japanese Journal of Applied Physics</i> , Vol. 37(1998), No.10 A, (Part 2 Letters), 01 October, 1998 (01.10.98) pp.L1093-L1094	5,6,15,17, 22-25 7,8
Y A	JP, 3-88379, A (Hoya Corporation), 12 April, 1991 (12.04.91), Full text; Fig. 1 (Family: none)	11,22-25 12
Y	JP, 10-339891, A (Nikon Corporation), 22 December, 1998 (22.12.98), Full text; Fig. 2 (Family: none)	13,14,15,16, 22-25
Y	JP, 11-52443, A (Sony Corporation), 26 February, 1999 (26.02.99), Fig. 1 (Family: none)	13,14,15,16, 19,22-25
P	Shujun Zhang, et al., "Growth and noncritical phase-matching third-harmonic-generation of $Gd_xY_{1-x}Ca_4O(BO_3)_3$ ", <i>JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH</i> , VOL.213, No.3/4, 01 June, 2000 (01.06.00), pp.415-418	4,6,9,10,16,18

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06131

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claim 1 relates to the temperature-controlling of non-linear optical crystals.  
 Claims 2-10, 12, 15-25 relate to the specifying of the materials of non-linear optical crystals, or the using of wavelength conversion units, that use the non-linear optical materials, for portions for generating high-order light.  
 Claims 11, 13, 14 are characterized by the optical systems (lens, prism) of wavelength conversion units.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.



## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO0/06131

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/37, H01S 3/109

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/37, H01S 3/109

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案広報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案広報 1971-2000年  
 日本国登録実用新案広報 1994-2000年  
 日本国実用新案登録広報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

DIALOG (WPI/L)  
 DIALOG (INSPEC)  
 JICST (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US, 5838709, A (Nikon Corporation) 17, 11月, 1998 (17, 11, 98), 全文	1, 2, 4-6, 9-11, 13-
A	& JP, 8-334803, A & JP, 9-148658, A	19, 22-25 3, 7, 8, 12, 20, 21
Y	EP, 919852, A1 (NEC CORPORATION) 2. 6月. 1999 (02. 06. 99) 第8頁第33行-第9頁第23行, 第11図 & JP11-160746, A	1, 22-25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05. 12. 12

国際調査報告の発送日

26.12.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2X

9412

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 84, No. 11, 1. 12月. 1998 (01. 12. 98)	2, 4, 15, 17, 22-25
A	V. Petrov, et. al., 「Vacuum ultra violet application of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ crystals: Generation of 100 fs pulses down to 170nm」, pp. 5887-5892	3
Y	OPTICS LETTERS, Vol. 24, No. 4 15. 2月. 1999 (15. 02. 99) M. Yoshimura, et. al., 「Noncritically phase-matched frequency conversion in $\text{Cd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ crystal」, pp. 193-195	4, 6, 9, 10, 16, 18, 22- 25
Y	Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37 (1998), No. 10A, (Part 2 Letters), 1. 10月. 1998 (01. 10. 98)	5, 6, 15, 17, 22-25
A	Zhang-Gui Hu, et. al. 「A New Nonlinear Optical Borate Crystal $\text{K}_2\text{Al}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (KAB)」, pp. L1093-L1094	7, 8
Y	JP, 3-88379, A (ホーヤ株式会社), 12. 4月. 1991 (12. 04. 91),	11, 22- 25
A	全文, 第1図 (ファミリーなし)	12
Y	JP, 10-339891, A (株式会社ニコン), 22. 12月. 1998 (22. 12. 98),	13, 14, 15, 16, 22-25
	全文, 第2図 (ファミリーなし)	
Y	JP, 11-52443, A (ソニー株式会社) 26. 2月. 1999 (26. 02. 99) 第1図 (ファミリーなし)	13, 14, 15, 16, 19, 22- 25
P	JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, VOL. 213, No. 3/4, 1. 6月. 2000 (01. 6月. 00), Shujun Zhang, et. al. 「Growth and noncrirical phase-matching third-harmonic-generation of $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ 」, pp. 415-418	4, 6, 9, 10, 16, 18

## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1は、非線形光学結晶の温度制御を行うものである。  
請求の範囲2-10, 12, 15-25は、非線形光学結晶の材料を特定したもの、あるいは、該非線形光学材料を使用した波長変換部を高次光を発生させる部分に用いたものである。  
請求の範囲11, 13, 14は、波長変換部の光学系 (レンズ、プリズム) に特徴のあるものである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



PCT

## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
[PCT18条、PCT規則43、44]

出願人又は代理人 の書類記号 00/06379	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。		
国際出願番号 PCT/JPO0/06131	国際出願日 (日.月.年) 08.09.00	優先日 (日.月.年) 10.09.99	
出願人(氏名又は名称) 株式会社ニコン			

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 4 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☒ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 3 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であって PCT 規則 6.4(a) の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1 は、非線形光学結晶の温度制御を行うものである。  
請求の範囲 2 - 10, 12, 15 - 25 は、非線形光学結晶の材料を特定したもの、あるいは、該非線形光学材料を使用した波長変換部を高次光を発生させる部分に用いたものである。  
請求の範囲 11, 13, 14 は、波長変換部の光学系 (レンズ、プリズム) に特徴のあるものである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

10/070684

Applicant's or agent's file reference 00/06379	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/JP00/06131	International filing date (day/month/year) 08 September 2000 (08.09.00)	Priority date (day/month/year) 10 September 1999 (10.09.99)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G02F 1/37, H01S 3/109		
Applicant NIKON CORPORATION		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 9 sheets, including this cover sheet.

☐ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of \_\_\_\_\_ sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☒ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 09 April 2001 (09.04.01)	Date of completion of this report 09 November 2001 (09.11.2001)
Name and mailing address of the IPEA/JP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP00/06131

## I. Basis of the report

## 1. With regard to the elements of the international application:\*

- ☒ the international application as originally filed
- ☐ the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the claims:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement under Article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. With regard to the **language**, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language \_\_\_\_\_ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP00/06131

IV. Lack of unity of invention

1. In response to the invitation to restrict or pay additional fees the applicant has:

- ☐ restricted the claims.
- ☐ paid additional fees.
- ☐ paid additional fees under protest.
- ☐ neither restricted nor paid additional fees.

2. ☒ This Authority found that the requirement of unity of invention is not complied with and chose, according to Rule 68.1, not to invite the applicant to restrict or pay additional fees.

3. This Authority considers that the requirement of unity of invention in accordance with Rules 13.1, 13.2 and 13.3 is

- ☐ complied with.
- ☒ not complied with for the following reasons:

See supplemental sheet for continuation of Box IV. 3.

4. Consequently, the following parts of the international application were the subject of international preliminary examination in establishing this report:

- ☒ all parts.
- ☐ the parts relating to claims Nos. \_\_\_\_\_

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

international application No.

PCT/JP 00/06131

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-25	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	3, 7, 8, 12, 20, 21	YES
	Claims	1, 2, 4-6, 9-11, 13-19, 22-25	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-25	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations

#### Claim 1

Document 1: US, 5838709, A (Nikon Corp.), 17 November 1998 (17.11.98), entire text, & JP, 8-334803, A, & JP, 9-148658, A

Document 1 discloses a laser device provided with wavelength conversion part having a plurality of non-linear optical crystals.

Document 2: EP, 919852, A1 (NEC Corp.), 2 June 1999 (02.06.99), p. 8, line 33 to p. 9, line 23, Fig. 11, & JP, 11-160746, A

Document 2 discloses a laser device that controls the temperature of non-linear optical crystals.

A person skilled in the art could easily conceive of adding the temperature control device disclosed in Document 2 to each of the plurality of non-linear optical crystals disclosed in Document 1.

#### Claim 2

Document 3: Petrov, V., et al., "Vacuum ultraviolet application of  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  crystals: Generation of 100 fs pulses down to 170 nm," Journal of Applied Physics, Vol. 84, No. 11, 1 December

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

1998 (01.12.98), pp. 5887-5892

Document 3 discloses a laser device that uses lithium tetraborate in non-linear optical crystals.

Applying the lithium tetraborate disclosed in Document 3 in the non-linear optical crystals disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 4

Document 4: Yoshimura, M., et al., "Noncritically phase-matched frequency conversion in  $Gd_xY_{1-x}Ca_4O(BO_3)_3$  crystal," Optics Letters, Vol. 24, No. 4, 15 February 1999 (15.02.99), pp. 193-195

Document 4 discloses the use of GdYCOB in non-linear optical crystals.

Applying the non-linear optical crystals disclosed in Documents 3 and 4 as the non-linear optical crystals disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 5

Document 5: Hu, Zhang-Gui, et al., "A New Non-linear Optical Borate Crystal  $K_2Al_2B_2O_7$  (KAB)," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37 (1998), No. 10A, (Part 2 Letters), 1 October 1998 (01.10.98), pp. L1093-L1094

Document 5 discloses a device that uses KAB crystals as non-linear optical crystals.

Applying the KAB crystals disclosed in Document 5 as the non-linear optical crystals disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 6

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Using the non-linear optical crystals disclosed in Document 4 and Document 5 as the non-linear optical crystals disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

Claims 9 and 10

Applying the GdYCOB used in the non-critical phase matching disclosed in Document 4 to the non-linear optical crystals in the portion generating a quadruple wave disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

Claim 11

Document 6: JP, 3-88379, A (Hoya Corp.), 12 April 1991 (12.04.91), entire text, Fig. 1 (Family: none)

Document 6 discloses a laser device having a wavelength conversion part provided with a plurality of relay optical systems that relay laser beams between a plurality of non-linear optical crystals.

Applying the wavelength conversion part disclosed in Document 6 to the invention disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

Claims 13 and 14

Document 7: JP, 10-339891, A (Nikon Corp.), 22 December 1998 (22.12.98), entire text, Fig. 2 (Family: none)

Document 7 discloses a laser device having an anisotropic optical system.

Document 8: JP, 11-52443, A (Sony Corp.), 26 February 1999 (26.02.99), Fig. 1 (Family: none)

Document 8 discloses a laser device provided with a wavelength conversion part that converts the wavelength of

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



a plurality of light flux collected into a laser beam into the wavelength of ultraviolet light using a plurality of non-linear optical crystals.

Applying the anisotropic optical system disclosed in Document 7 and the constitution for converting the wavelength of a plurality of light flux collected into a laser beam, disclosed in Document 8, to the laser device disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 15

Applying the non-linear optical crystals disclosed in Document 3 and Document 5, the anisotropic optical system disclosed in Document 7, and the constitution for converting the wavelength of a plurality of light flux collected into a laser beam, disclosed in Document 8, to the laser device disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 16

Applying the non-linear optical crystals disclosed in Document 4, the anisotropic optical system disclosed in Document 7, and the constitution for converting the wavelength of a plurality of light flux collected into a laser beam, disclosed in Document 8, to the laser device disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

#### Claim 17

Applying the non-linear optical crystals disclosed in Document 3 and Document 5 to the laser device disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## Claim 18

Applying the non-linear optical crystals disclosed in Document 4 to the laser device disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

## Claim 19

Applying the constitution for converting the wavelength of a plurality of light flux collected into a laser beam, disclosed in Document 8, to the invention disclosed in Document 1 would be obvious to a person skilled in the art.

## Claims 22 to 25

Combining (or applying) the inventions disclosed in Documents 1 to 8 as noted in the above comments to produce an exposure device, a manufacturing method for an exposure device, or a manufacturing method for a device, would be obvious to a person skilled in the art.

## Claims 3, 7, 8, 12, 20, and 21

None of the documents cited in the international search report discloses or suggests the generation of an octuple wave from a fundamental wave and the septuple wave of the fundamental wave, the generation of an octuple wave from a quadruple wave and the use of KAB crystals in a portion generating the aforementioned octuple wave, the conversion of a 1.5  $\mu\text{m}$  fundamental wave to an octuple higher harmonic wave or a ten-fold higher harmonic wave, or the conversion of a 1.1  $\mu\text{m}$  fundamental wave to a septuple higher harmonic wave.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: IV. 3.

Claim 1 pertains to the temperature control of non-linear optical crystals.

Claims 2 to 10 and 15 to 25 pertain to specification of a non-linear optical crystal material, or to the use of a wavelength conversion part, which uses the non-linear optical material, in a portion that generates high-order light.

Claims 11 to 13 and 14 pertain to specification of the constitution for optical systems (lenses, prisms) in a wavelength conversion part.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

13T

## 特 許 協 力 条 約

P C T

## 国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)  
〔PCT36条及びPCT規則70〕

23 NOV 2001

出願人又は代理人 の書類記号 00/06379	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知（様式PCT/ IPEA/416）を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO0/06131	国際出願日 (日.月.年) 08.09.00	優先日 (日.月.年) 10.09.99
国際特許分類 (IPC) Int. Cl <sup>7</sup> G02F1/37, H01S 3/109		
出願人 (氏名又は名称) 株式会社ニコン		

1. 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条 (PCT36条) の規定に従い送付する。
2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 6 ページからなる。
- ☐ この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面も添付されている。  
(PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照)  
この附属書類は、全部で ページである。

3. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。
- I ☒ 国際予備審査報告の基礎
- II ☐ 優先権
- III ☐ 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
- IV ☒ 発明の単一性の欠如
- V ☒ PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
- VI ☐ ある種の引用文献
- VII ☐ 国際出願の不備
- VIII ☐ 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 09.04.01	国際予備審査報告を作成した日 09.11.01	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 三橋 健二	2 X 9412
電話番号 03-3581-1101 内線 3255		

様式PCT/IPEA/409 (表紙) (1998年7月)

D

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



## I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT 14条)の規定に基づく命令に  
応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。  
PCT規則70.16, 70.17)

☒ 出願時の国際出願書類

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 出願時に提出されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 PCT 19条の規定に基づき補正されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 出願時に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である \_\_\_\_\_ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)にいう翻訳文の言語  
☐ PCT規則48.3(b)にいう国際公開の言語  
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3にいう翻訳文の言語

3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった  
☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項  
☐ 図面 図面の第 \_\_\_\_\_ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならない、本報告に添付する。)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## IV. 発明の単一性の欠如

1. 請求の範囲の減縮又は追加手数料の納付の求めに対して、出願人は、

- ☐ 請求の範囲を減縮した。
- ☐ 追加手数料を納付した。
- ☐ 追加手数料の納付と共に異議を申立てた。
- ☐ 請求の範囲の減縮も、追加手数料の納付もしなかった。

2. ☒ 国際予備審査機関は、次の理由により発明の単一性の要件を満たしていないと判断したが、PCT規則68.1の規定に従い、請求の範囲の減縮及び追加手数料の納付を出願人に求めないこととした。

3. 国際予備審査機関は、PCT規則13.1、13.2及び13.3に規定する発明の単一性を次のように判断する。

- ☐ 満足する。
- ☒ 以下の理由により満足しない。

請求の範囲1は、非線形光学結晶の温度制御を行うものである。  
請求の範囲2-10, 15-25は、非線形光学結晶の材料を特定したもの、あるいは、該非線形光学材料を使用した波長変換部を高次光を発生させる部分に用いたものである。  
請求の範囲11-13, 14は、波長変換部の光学系（レンズ、プリズム）の構成を特定したものである。

4. したがって、この国際予備審査報告書を作成するに際して、国際出願の次の部分を、国際予備審査の対象にした。

- ☒ すべての部分
- ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ に関する部分

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条(PCT35条(2))に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

## 1. 見解

新規性(N)	請求の範囲	1-25	有
	請求の範囲		無
進歩性(IS)	請求の範囲	3, 7, 8, 12, 20, 21	有
	請求の範囲	1, 2, 4-6, 9-11, 13-19, 22-25	無
産業上の利用可能性(IA)	請求の範囲	1-25	有
	請求の範囲		無

## 2. 文献及び説明(PCT規則70.7)

## 請求の範囲1

文献1: US 5838709 A (NIKON CORPORATION)  
17. 11月. 1998 (17. 11. 98), 全文  
& JP 8-33480 3 A & JP 9-148658 A  
には、複数個の非線形光学結晶を有する波長変換部を備えたレーザ装置が記載されている。  
文献2: EP 919852 A1 (NEC CORPORATION)  
2. 6月. 1999 (02. 06. 99) 第8頁第33行-第9頁第2  
3行, 第11図 & JP 11-160746 A  
には、非線形光学結晶の温度制御を行うレーザ装置が記載されている。  
文献2に記載された温度制御装置を文献1の複数の非線形光学結晶のそれぞれに  
付加することは、当業者にとっては容易である。

## 請求の範囲2

文献3: PETROV, V. et. al., Vacuum ultraviolet application of  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  crystals  
: Generation of 100fs pulses down to 170nm, JOURNAL OF APPLIED  
PHYSICS, Vol. 84, No. 11, 1. 12月. 1998 (01. 12. 98) pp. 5887-5892  
には、非線形光学結晶に四ほう酸リチウムを用いたレーザ装置が記載されてい  
る。  
文献3に記載された四ほう酸リチウムを、文献1の非線形光学結晶に適用するこ  
とは、当業者にとっては自明である。

## 請求の範囲4

文献4: YOSHIMURA, M., et. al., Noncritically phase-matched frequency  
conversion in  $\text{Gd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{O}(\text{BO}_3)_3$  crystal, OPTICS LETTERS, Vol. 24, No. 4  
15. 2月. 1999 (15. 02. 99), pp. 193-195  
には、非線形光学結晶に  $\text{GdYCOB}$  を使用することが記載されている。  
文献3および4に記載された非線形光学結晶をそれぞれ文献1の非線形光学結晶  
として適用することは、当業者にとっては自明である。

## 請求の範囲5

文献5: ZHANG-GUI, Hu, et. al., A New Nonlinear Optical Borate Crystal  $\text{K}_2\text{Al}_2\text{B}_2\text{O}_7$   
(KAB), Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37(1998), No. 10A,  
(Part 2 Letters), 1. 10月. 1998 (01. 10. 98), pp. L1093-L1094  
には、非線形光学結晶として  $\text{KAB}$  結晶を使用した装置が記載されている。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

補充欄 (いずれかの欄の大きさが足りない場合に使用すること)

第 V 欄の続き

文献5に記載されたKAB結晶を文献1の非線形光学結晶に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲6

文献4および文献5に記載された非線形光学結晶を、文献1の非線形光学結晶に用いることは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲9、10

文献4の非臨界位相整合で用いられるGdYCOBを、文献1の4倍波を発生する部分の非線形光学結晶に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲11

文献6: JP 3-88379 A (ホーヤ株式会社), 12. 4月. 1991 (12. 04. 91), 全文, 第1図 (ファミリーなし)

には、複数の非線形光学結晶の間でレーザ光をリレーする複数のリレー光学系を備えた波長変換部を有するレーザ装置が記載されている。

文献6の波長変換部を、文献1に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲13、14

文献7: JP 10-339891 A (株式会社ニコン), 22. 12月. 1998 (22. 12. 98), 全文, 第2図 (ファミリーなし)

には、非等方的光学系を有するレーザ装置が記載されている。

文献8: JP 11-52443 A (ソニー株式会社) 26. 2月. 1999 (26. 02. 99) 第1図 (ファミリーなし)

には、複数の光束を束ねたレーザ光を複数の非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換する波長変換部を備えたレーザ装置が記載されている。

文献7に記載された非等方的光学系、および、文献8に記載された複数の光束を束ねたレーザ光を波長変換する構成を、文献1のレーザ装置に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲15

文献3、文献5に記載された非線形光学結晶、文献7に記載された非等方的光学系、および、文献8に記載された複数の光束を束ねたレーザ光を波長変換する構成を、文献1のレーザ装置に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲16

文献4に記載された非線形光学結晶、文献7に記載された非等方的光学系、および、文献8に記載された複数の光束を束ねたレーザ光を波長変換する構成を、文献1のレーザ装置に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲17

文献3、文献5に記載された非線形光学結晶を、文献1のレーザ装置に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲18

文献4に記載された非線形光学結晶を、文献1のレーザ装置に適用することは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲19

文献8に記載された複数の光束を束ねたレーザ光を波長変換する構成を、文献1に適用することは、当業者にとっては自明である。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



補充欄（いずれかの欄の大きさが足りない場合に使用すること）

第 V 欄の続き

請求の範囲 22-25

文献1-8に記載されたものを、上述の請求の範囲で述べたとおり組み合わせ（あるいは適用し）、露光装置、露光装置の製造方法、または、デバイスの製造方法とすることは、当業者にとっては自明である。

請求の範囲 3, 7, 8, 12, 20, 21

国際調査報告で引用したいずれの文献にも、基本波の7倍波と基本波から8倍波を生成すること、4倍波から8倍波を発生し前記8倍波を発生する部分にKAB結晶が使用されること、1.5  $\mu\text{m}$ の基本波を8倍高調波又は10倍高調波に変換すること、および、1.1  $\mu\text{m}$ の基本波を7倍高調波に変換することについては、記載も示唆もされていない。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

## NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Commissioner  
 US Department of Commerce  
 United States Patent and Trademark  
 Office, PCT  
 2011 South Clark Place Room  
 CP2/5C24  
 Arlington, VA 22202  
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE  
 in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 14 June 2001 (14.06.01)	
International application No. PCT/JP00/06131	Applicant's or agent's file reference 00/06379
International filing date (day/month/year) 08 September 2000 (08.09.00)	Priority date (day/month/year) 10 September 1999 (10.09.99)
Applicant OHTSUKI, Tomoko	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:  
 09 April 2001 (09.04.01)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:  
 \_\_\_\_\_

2. The election ☒ was

☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer Antonia Muller Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	--

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**